

repository.ub.ac.id

**PENGARUH PEMBERIAN KAYU MANIS, KUNYIT, DAN  
PALA TERHADAP KANDUNGAN RADIKAL BEBAS,  
PROTEIN, DAN ASAM LEMAK BEBAS PADA DAGING  
SAPI YANG TERPAPAR RADIASI GELOMBANG MIKRO  
TELEPON SELULER**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

oleh:  
**Selin Lusiana**  
**145090301111008**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH PEMBERIAN KAYU MANIS, KUNYIT, DAN  
PALA TERHADAP KANDUNGAN RADIKAL BEBAS,  
PROTEIN, DAN ASAM LEMAK BEBAS PADA DAGING  
SAPI YANG TERPAPAR RADIASI GELOMBANG MIKRO  
TELEPON SELULER

Oleh:

Selin Lusiana  
145090301111008

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal 02 JUL 2018  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Drs. Unggul P. Juswono., M.Sc.  
NIP. 196501111990021002

Pembimbing II

Firdy Yuana., S.Si., M.Si.  
NIP. 198003292005022007



Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Prof. DR. rer. nat. Muhammad Nurhuda.  
NIP. 196409101990021001



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**LEMBAR PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

**Nama** : Selin Lusiana  
**NIM** : 145090301111008  
**Jurusan** : Fisika  
**Penulis Skripsi Berjudul** :

**Pengaruh Pemberian Kayu Manis, Kunyit, dan Pala terhadap Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas pada Daging Sapi yang Terpapar Radiasi Gelombang Mikro Telepon Seluler**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila di kemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, ..02... Juli..... 2018  
Yang menyatakan,



(Selin Lusiana)  
NIM. 145090301111008



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

# **PENGARUH PEMBERIAN KAYU MANIS, KUNYIT, DAN PALA TERHADAP KANDUNGAN RADIKAL BEBAS, PROTEIN, DAN ASAM LEMAK BEBAS PADA DAGING SAPI YANG TERPAPAR RADIASI GELOMBANG MIKRO TELEPON SELULER**

## **ABSTRAK**

Telepon seluler (HP) saat ini sudah menjadi kebutuhan yang tidak dapat dipisahkan dari masyarakat, terbukti dengan semakin meningkatnya penggunaan telepon seluler setiap tahunnya. Telepon seluler dapat memancarkan gelombang mikro yang sangat berbahaya apabila berinteraksi dengan suatu sel atau jaringan karena dapat merusak struktur sel atau jaringan tersebut. Antioksidan merupakan suatu senyawa yang dapat menghambat atau mencegah kerusakan akibat reaksi oksidasi oleh senyawa radikal bebas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala terhadap kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler. Daging sapi diradiasi menggunakan telepon seluler dengan variasi waktu paparan 15, 30, 45, dan 60 menit kemudian sampel daging sapi diuji kandungan radikal bebasnya dengan menggunakan alat *Electron Spin Resonance* (ESR). Selain itu, juga diuji kandungan protein dan asam lemak bebas dari daging sapi. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan kandungan radikal bebas serta penurunan persentase kandungan protein dan asam lemak bebas seiring dengan bertambahnya waktu paparan. Jenis radikal bebas yang terbentuk adalah hidroperoksida (ROOH) dengan nilai faktor-g berkisar 1.983706-1.986548. Antioksidan yang digunakan dapat menurunkan kandungan radikal bebas dan asam lemak bebas serta dapat mempertahankan kandungan protein. Kunyit merupakan antioksidan terbaik dibandingkan dengan kayu manis dan pala dalam hal menurunkan kandungan radikal bebas dan asam lemak bebas serta mempertahankan kandungan protein.

Kata kunci : Telepon seluler, gelombang mikro, radikal bebas, protein, asam lemak bebas, antioksidan, *Electron Spin Resonance* (ESR)



[Halaman ini sengaja dikosongkan]



# **THE EFFECT OF CINNAMON, TURMERIC, AND NUTMEG LEAF EXTRACT TOWARDS FREE RADICALS, PROTEINS, AND FREE FATTY ACIDS OF BEEF THAT EXPOSED BY MICROWAVE RADIATION FROM MOBILE PHONES**

## **ABSTRACT**

Mobile phones are an essential requirement for the community nowadays, as the increasing of mobile phones usage each year. Mobile phones can emit microwave that are very dangerous. They can damage the structure of the cell or the tissue, when interact with cell or tissue. Antioxidants are compounds that can inhibit or prevent damage caused by free radical oxidation reactions. The purpose of this study is to investigate the effect of cinnamon, turmeric and nutmeg antioxidants on free radicals, proteins, and free fatty acids of beef that exposed by microwave radiation from mobile phones. The beef was irradiated by mobile phone with variations in the exposure time of 15, 30, 45 and 60 minutes. The free radical content on beef sample was analyzed using electron spin resonance (ESR). The content of protein and free fatty acids of beef were analyzed too. The results showed an increase in free radical content and a reduced percentage of protein and free fatty acids along with increasing exposure time. The type of free radicals that formed is hydroperoxide (ROOH) with a g-factor value in the range of 1.983706 to 1.986548. Antioxidants are used to reduce the levels of free radicals and free fatty acids and maintain the protein content. Turmeric is the best antioxidant than cinnamon and nutmeg on decreasing the level of free radicals and free fatty acids and maintaining the protein content.

**Keywords :** mobile phone, microwaves, free radicals, proteins, free fatty acids, antioxidants, electron spin resonance (ESR)



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmat, kuasa serta inayah dan hidayah-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Pemberian Kayu Manis, Kunyit, dan Pala terhadap Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas pada Daging Sapi yang Terpapar Radiasi Gelombang Mikro Telepon Seluler” dengan lancar.

Pembuatan laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari orang-orang yang telah mendukung pelaksanaan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Sukanda dan Ibu Susiati serta pada adik tersayang Deo Alif Utama yang selalu memberikan doa, nasehat, motivasi, dan semangatnya. Selain itu, penulis juga mengucapkan terimakasih atas bimbingan dan bantuan yang telah diberikan oleh:

1. Prof. Dr. rer.nat. Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
2. Dr. Eng. Masrurroh, S.Si., M.Si. selaku Ketua Prodi Fisika Universitas Brawijaya.
3. Drs. Unggul P. Juswono, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Pertama.
4. Firdy Yuana, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Kedua.
5. Teman-teman bimbingan UPJ Fisika UB angkatan 2014 yang selalu memberikan doa, semangat, dan cerita-cerita lucunya.
6. Semua pihak yang tidak disebutkan disini serta telah ikut membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya. Akhir kata, penulis memohon maaf atas segala kekurangan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Adapun saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan tulisan ini yang dapat disampaikan melalui email [selinlusiana@gmail.com](mailto:selinlusiana@gmail.com).

Malang, 03 Juli 2018

**Penulis**



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Daging Sapi.....	5
2.2 Telepon Seluler .....	7
2.3 Radiasi Gelombang Elektromagnetik .....	8
2.4 Interaksi Radiasi Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler terhadap Materi .....	10
2.5 Radikal Bebas .....	13
2.6 Antioksidan .....	15
2.7 Kayu Manis ( <i>Cinnamomum Burmanni</i> ).....	17

2.8	Kunyit ( <i>Curcuma domestica</i> . Val) .....	18
2.9	Pala ( <i>Myristica fragrans</i> . Houtt) .....	19
2.10	<i>Electron Spin Resonance</i> .....	20
BAB III METODOLOGI .....		25
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	25
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	25
3.3	Tahapan Penelitian .....	25
3.3.1	Persiapan Bahan .....	25
3.3.2	Persiapan Alat.....	27
3.3.3	Uji Kontrol Daging Segar.....	28
3.3.4	Pemberian Antioksidan .....	29
3.3.5	Proses Pemaparan Daging Sapi Dengan Menggunakan Radiasi Gelombang Mikro Telepon Seluler.....	29
3.3.6	Analisa Data .....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		33
4.1	Hasil Penelitian .....	33
4.1.1	Kalibrasi Perangkat ESR .....	33
4.1.2	Hasil Uji Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas Daging Sapi Sebelum Diradiasi Telepon Seluler dan Tanpa Antioksidan...	34
4.1.3	Hasil Uji Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas Daging Sapi yang Diradiasi Telepon Seluler dan Tanpa Antioksidan .....	35
4.1.4	Hasil Uji Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas Daging Sapi yang Diradiasi Telepon Seluler dan Diberi Antioksidan .....	39
4.2	Pembahasan.....	41
4.2.1	Analisa Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas Daging Sapi yang Diradiasi Telepon Seluler dan Tanpa Antioksidan .....	41

4.2.2 Analisa Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas Daging Sapi yang Diradiasi Telepon Seluler dan Diberi Antioksidan .....45

BAB V PENUTUP ..... 53

5.1 Kesimpulan .....53

5.2 Saran .....53

DAFTAR PUSTAKA..... 55

LAMPIRAN ..... 61





[Halaman ini sengaja dikosongkan]



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagian-bagian daging sapi .....	6
Gambar 2.2	Perambatan gelombang elektromagnetik .....	8
Gambar 2.3	Spektrum gelombang elektromagnetik.....	10
Gambar 2.4	Gerakan molekul diatomik .....	11
Gambar 2.5	Tiga jenis gerak vibrasi pada molekul triatomik .....	12
Gambar 2.6	Mekanisme propagasi pada obat .....	14
Gambar 2.7	Stres oksidatif .....	15
Gambar 2.8	Jejaring antioksidan .....	16
Gambar 2.9	Kayu manis .....	17
Gambar 2.10	Kunyit .....	18
Gambar 2.11	Pala .....	19
Gambar 2.12	Diagram level energi dari elektron yang terisolasi pada medan magnet B .....	22
Gambar 3.1	Tahapan Penelitian .....	26
Gambar 3.2	Rangkaian alat ESR Leybond-Heracus .....	27
Gambar 3.3	Konfigurasi sumber radiasi terhadap objek daging sapi .....	29
Gambar 3.4	Perhitungan kedalaman kurva resonansi dengan <i>Microsoft Word</i> .....	31
Gambar 4.1	Kurva resonansi sampel DPPH pada osiloskop .....	33
Gambar 4.2	Kurva resonansi daging sapi sebelum diradiasi telepon seluler dan tanpa antioksidan.....	35
Gambar 4.3	Kurva resonansi daging sapi yang mengandung radikal bebas.....	35
Gambar 4.4	Grafik pengaruh waktu pemaparan terhadap kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi .....	37
Gambar 4.5	Grafik pengaruh waktu pemaparan terhadap kandungan protein daging sapi.....	38
Gambar 4.6	Grafik pengaruh waktu pemaparan terhadap kandungan asam lemak bebas daging sapi.....	38
Gambar 4.7	Grafik pengaruh antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala terhadap kandungan protein pada daging sapi yang diradiasi telepon seluler .....	39
Gambar 4.8	Grafik pengaruh antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala terhadap kandungan asam lemak bebas pada daging sapi yang diradiasi telepon seluler .....	40

Gambar 4.9	Grafik pengaruh antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala terhadap kandungan radikal bebas hidropersida pada daging sapi yang diradiasi telepon seluler.....	40
Gambar 4.10	Struktur umum protein .....	43
Gambar 4.11	Reaksi Hidrolisis Lemak . .....	45
Gambar 4.12	Interaksi gelombang mikro dengan enzim Lipase ...	45
Gambar 4.13	Interaksi radikal hidropersida (ROOH) dengan senyawa flavonoid dari antioksidan kayu manis dan pala.....	49
Gambar 4.14	Interaksi radikal hidropersida (ROOH) dengan senyawa fenol dari antioksidan pala.....	49
Gambar 4.15	Interaksi radikal hidropersida (ROOH) dengan senyawa bisdemetoksi kurkumin (3) dari antioksidan kunyit .....	50
Gambar 4.16	Interaksi radikal protein (P*) dengan senyawa flavonoid dari antioksidan kayu manis dan pala .....	50
Gambar 4.17	Interaksi radikal protein (P*) dengan senyawa fenol dari antioksidan pala.....	51
Gambar 4.18	Interaksi radikal protein (P*) dengan senyawa bisdemetoksi kurkumin (3) dari antioksidan kunyit .	51

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kandungan gizi pada daging sapi per 100 gram bahan.....	5
Tabel 2.2	Komposisi asam amino essensial daging sapi .....	6
Tabel 2.3	Kandungan minyak atsiri kayu manis .....	17
Tabel 2.4	Komposisi kimia kunyit .....	18
Tabel 2.5	Kandungan gizi biji pala per 95 gram bahan.....	20
Tabel 2.6	Nilai Faktor-g dari radikal bebas .....	23
Tabel 4.1	Data hasil pengukuran kalibrasi perangkat ESR dengan sampel DPPH.....	34
Tabel 4.2	Data hasil uji ESR pada daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan tanpa antioksidan.....	36



[Halaman ini sengaja dikosongkan]



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Tabel kandungan protein daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan tanpa antioksidan.....	61
Lampiran 2.	Tabel kandungan protein daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan diberi antioksidan .....	61
Lampiran 3.	Tabel kandungan asam lemak bebas daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan tanpa antioksidan .....	62
Lampiran 4.	Tabel kandungan asam lemak bebas daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan diberi antioksidan .....	62
Lampiran 5.	Tabel kuadrat kedalaman kurva resonansi daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan tanpa antioksidan .....	63
Lampiran 6.	Tabel kuadrat kedalaman kurva resonansi daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan diberi antioksidan .....	63
Lampiran 7.	Tabel data hasil perhitungan faktor-g daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan tanpa antioksidan .....	65
Lampiran 8.	Tabel data hasil perhitungan faktor-g daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan diberi antioksidan kayu manis .....	66
Lampiran 9.	Tabel data hasil perhitungan faktor-g daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan diberi antioksidan kunyit .....	67
Lampiran 10.	Tabel data hasil perhitungan faktor-g daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan diberi antioksidan pala.....	68
Lampiran 11.	Foto hasil resonansi kurva Lissajous.....	69
Lampiran 12.	Gambar alat dan bahan.....	71
Lampiran 13.	Sertifikat bebas plagiasi .....	73



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Istilah/singkatan	Keterangan
Asam lemak bebas ( <i>Free Fatty acid/FFA</i> )	Suatu asam yang dibebaskan pada proses hidrolisis lemak oleh enzim lipase
Asam lemak jenuh ( <i>Saturated Fatty Acid /SFA</i> )	asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap pada atom karbon
ESR	<i>Electron spin resonance</i>
Gelombang mikro	Gelombang yang termasuk dalam rentang spektrum gelombang elektromagnetik non pengion
Hidrolisis	Pemecahan suatu substrat menjadi produk-produk dengan bantuan molekul air
$\text{H}_3\text{O}^+$	Ion hidronium
Katalis	Suatu zat yang berfungsi untuk mempercepat reaksi
Lipase	Enzim yang berfungsi sebagai katalis untuk memecah lipid menjadi asam lemak bebas dan gliserol
Oksidasi	Suatu reaksi atau peristiwa pengikatan oksigen oleh suatu unsur atau senyawa
Protein	Berasal dari bahasa Yunani yaitu <i>proteios</i> yang berarti “barisan pertama”, merupakan komponen utama penyusun sel yang terdiri dari gabungan asam amino membentuk rantai ikatan yang panjang
Radikal bebas ( <i>Free radicals</i> )	Suatu atom, unsur, molekul, atau senyawa yang memiliki satu atau lebih elektron tidak berpasangan pada kulit terluarnya



[Halaman ini sengaja dikosongkan]



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Daging sapi merupakan salah satu makanan yang banyak mengandung gizi. Kandungan gizi yang terdapat pada daging sapi tersebut antara lain vitamin B kompleks yang terdiri dari vitamin B1, vitamin B2, vitamin B3, vitamin B6, dan vitamin B12. Kandungan gizi lainnya yang terdapat pada daging sapi yaitu protein, karbohidrat, zat besi (Fe), dan seng (Zn) (Bahar, 2003). Selain itu, daging sapi juga banyak mengandung asam amino essensial diantaranya histidin, isoleusin, leusin, lisin, metionin, sistin, phenilalanin, tirosin, threonin, triptofan, dan valin. Oleh karena banyaknya kandungan asam amino essensial tersebut, daging sapi merupakan sumber protein hewani yang lebih baik dari sumber protein nabati. Daging sapi merupakan sumber protein yang paling besar dibandingkan sumber protein hewani yang lainnya (Dalilah, 2006). Daging sapi diolah menjadi makanan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dimasak menggunakan oven gelombang mikro (Handayani, 2017).

Telepon seluler (HP) saat ini sudah menjadi kebutuhan yang tidak dapat dipisahkan dari masyarakat, terbukti dengan semakin meningkatnya penggunaan telepon seluler setiap tahunnya. Penggunaan telepon seluler dapat memberikan efek samping terhadap kesehatan karena adanya paparan gelombang elektromagnetik dari telepon seluler tersebut yaitu berupa gelombang mikro (Rakhmawati, 2011). Meskipun paparan radiasi gelombang elektromagnetik dari telepon seluler relatif kecil, namun jika terpapar dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan kerusakan pada sel atau jaringan (Sutyarso, 2010). Telepon seluler berbeda dengan oven gelombang mikro, dimana pada oven gelombang mikro dindingnya terbuat dari logam guna mendapatkan fungsi sebagai sangkar faraday yang bertindak sebagai penetralisir gelombang mikro agar tidak keluar dari alat, sehingga gelombang mikro dari oven gelombang mikro tidak akan terpapar pada benda, bahan, maupun manusia yang ada disekitarnya. Sedangkan, pada telepon seluler tidak dilengkapi dengan sangkar faraday, sehingga

gelombang mikro yang dipancarkan oleh telepon seluler dapat terpapar pada benda, bahan, ataupun manusia yang ada disekitarnya. Telepon seluler tidak dapat menerima atau mengeluarkan sinyal apabila berada dalam suatu sangkar faraday (Djamal dan Krisnadi, 2013).

Daging sapi yang terpapar radiasi telepon seluler mengalami penurunan persentase kandungan protein dan jumlah penurunannya bertambah seiring dengan lamanya waktu paparan yang diberikan. Hal ini disebabkan karena semakin lama daging sapi berada pada medan radiasi telepon seluler, maka intensitas radiasi yang diserap oleh daging sapi juga akan meningkat. Selain lamanya paparan, jarak sumber radiasi juga berpengaruh terhadap penurunan persentase kandungan protein daging sapi (Fitriani, 2015).

Gelombang mikro yang terpapar pada daging sapi dapat menghasilkan radikal bebas (oksidan). Adanya senyawa radikal dapat menimbulkan reaksi berantai pembentukan radikal bebas, sehingga terbentuk senyawa-senyawa radikal bebas baru lainnya. Radikal bebas tersebut berbahaya bagi tubuh dalam keadaan stres oksidatif, yaitu keadaan dimana kadar radikal bebas didalam tubuh melebihi kemampuan tubuh untuk memperbaiki kerusakan yang ditimbulkannya. Jenis radikal bebas yang dihasilkan dari daging sapi yang terpapar gelombang mikro adalah hidrosil dan atau alkoksil serta peroksida (Handayani, 2017). Gelombang mikro juga dapat dijadikan sebagai stabilisator untuk menghambat aktivitas enzim lipase, sehingga dapat menghambat terbentuknya asam lemak bebas. Asam lemak bebas yang terkandung pada bahan makanan dapat menyebabkan bau tengik (Purnomo, Martono dan Kristijanto, 2013).

Apabila terjadi stres oksidatif, maka diperlukan suatu antioksidan. Antioksidan adalah bahan yang mampu menghambat atau mencegah terjadinya keruntuhan, kerusakan, atau kehancuran akibat reaksi oksidasi yang disebabkan oleh senyawa radikal bebas atau oksidan (Youngson, 2003). Antioksidan bisa didapatkan dari bahan alami, salah satunya dari rempah-rempah yang biasa digunakan sebagai bahan masakan (Putra dan Verawati, 2011).

Berdasarkan pernyataan diatas, maka kayu manis, kunyit, dan pala dimungkinkan dapat digunakan sebagai bahan antioksidan yang mampu mengurangi kadar radikal bebas dan asam lemak bebas serta kerusakan protein daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh pemberian kayu manis, kunyit, dan pala terhadap kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas pada daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, disusun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh pemaparan radiasi gelombang mikro serta pengaruh pemberian kayu manis, kunyit, dan pala terhadap kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas pada daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu daging sapi yang digunakan adalah daging bagian has luar (sirloin) dari sapi yang tidak diketahui umurnya. Telepon seluler yang digunakan sebanyak 4 dengan merek dan tipe yang sama pada tiap pengambilan data. Waktu pemaparan yang digunakan adalah 15, 30, 45, dan 60 menit. Jarak sumber radiasi terhadap daging sapi adalah 5 cm. Pada penelitian ini tidak membahas besar energi radiasi gelombang mikro yang dipancarkan oleh telepon seluler, serta tidak membahas bagaimana gelombang mikro tersebut dihasilkan.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, maka ditentukan tujuan penelitian yaitu untuk menganalisis pengaruh pemaparan radiasi gelombang mikro yang dipancarkan telepon seluler terhadap kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas serta pengaruh pemberian kayu manis, kunyit, dan pala dalam menurunkan kadar radikal bebas, kerusakan protein, dan asam lemak

bebas pada daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pengaruh pemaparan radiasi gelombang mikro serta pemberian kayu manis, kunyit, dan pala terhadap kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler. Sehingga dapat diketahui cara untuk meminimalisir dampak kerusakan suatu sel atau jaringan makhluk hidup yang ditimbulkan oleh radiasi telepon seluler serta dapat diterapkan oleh masyarakat dalam proses pengolahan makanan.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Daging Sapi

Daging sapi merupakan salah satu makanan yang banyak mengandung gizi. Oleh karena itu, banyak dikonsumsi oleh masyarakat dalam kehidupan sehari-hari (Purnamasari *et al.*, 2013). Menurut Badan Ketahanan Pangan dan Pelaksana Penyuluhan Kabupaten Bantul tahun 2014, kandungan gizi daging sapi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Kandungan gizi pada daging sapi per 100 gram bahan

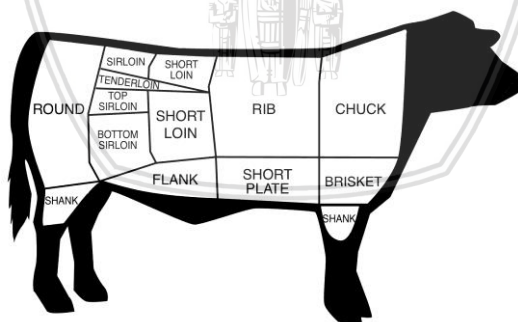
Kandungan Gizi	Jumlah
Kalori	207 kal
Protein	18.8 g
Lemak	14 g
Karbohidrat	0 g
Kalsium	11 mg
Posfor	170 mg
Besi	2.8 g
Vitamin A	30 SI
Vitamin B1	0.08 mg
Vitamin C	0 mg
Air	66 g

Komponen terbanyak yang terdapat pada daging sapi adalah protein, sehingga daging sapi mempunyai nilai gizi yang tinggi. Protein memiliki banyak manfaat bagi tubuh yaitu sebagai zat pembangun tubuh, sebagai zat pengatur, mengganti bagian tubuh yang rusak, mempertahankan tubuh dari serangan mikroba penyebab penyakit, serta sebagai sumber energi (kalori) bagi tubuh bila energiyang berasal dari karbohidrat atau lemak tidak mencukupi. Daging sapi banyak mengandung asam amino essensial sehingga daging sapi merupakan sumber protein hewani yang lebih baik dari sumber protein nabati (Dalilah, 2006). Kandungan asam amino essensial dari daging sapi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Komposisi asam amino essensial daging sapi (Dalilah, 2006)

Jenis Asam Amino Essensial	Kadar (g/100g N)
Histidin	21
Isoleusin	28
Leusin	49
Lisin	52
Metionin+Sistin	23
Phenilalanin+tirosin	45
Threonin	27
Triptofan	7
Valin	30

Bagian-bagian daging sapi dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut:



**Gambar 2.1** Bagian-bagian daging sapi

Salah satu bagian dari daging sapi adalah sirloin (bagian has luar). Sirloin merupakan daging yang paling banyak digunakan karena daging bagian ini bisa dikatakan paling empuk dibandingkan dengan daging bagian lainnya. Bila dilihat dari anatominya, sirloin

terletak dibagian punggung belakang, dimana bagian ini jarang digerakkan. Karena komposisinya hanya 4.4 % dari berat karkas dan tergolong daging eksklusif, maka nilai ekonomisnya tinggi (Bahar, 2003).

## 2.2 Telepon Seluler

Telepon seluler merupakan salah satu alat komunikasi dalam kehidupan sehari-hari. Saat ini, telepon seluler makin diminati oleh masyarakat karena alasan efisiensi serta telepon seluler yang sudah sangat variatif dan makin canggih (Anggit, 2015). Telepon seluler atau *handphone* merupakan alat komunikasi *wireless* yaitu komunikasi bergerak tanpa kabel atau yang disebut dengan *Mobile Device*. Prinsip dari komunikasi *wireless* ini yaitu menggunakan kanal radio yang terpisah untuk berkomunikasi dengan *cellsite*. Teknologi telepon tanpa kabel (*wireless*) yang sedang berkembang pesat saat ini diantaranya AMPS (*Advance Mobile Phone System*), GSM (*Global System for Mobile System*), dan CDMA (*Code Division Multiple Access*) (Setiawan, 2009).

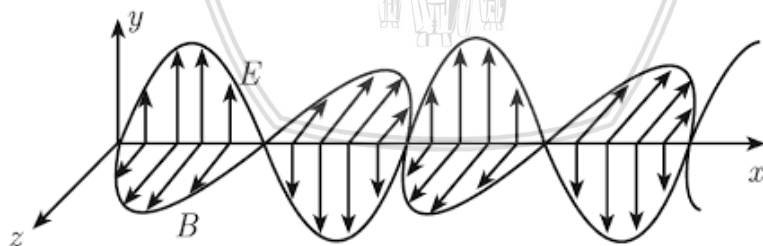
Teknologi CDMA pertama kali diaplikasikan pada telepon seluler digital dan beroperasi pada rentang frekuensi 800-1900 MHz. Teknologi CDMA dibuat untuk memperbaiki teknologi *wireless* sebelumnya yaitu AMPS yang mempunyai banyak kelemahan. Teknologi GSM merupakan teknologi komunikasi digital yang menggunakan gelombang TDMA (*Time Division Multiple Access*). GSM hanya mempunyai kemampuan kecepatan 9.6 Kb/s sehingga tidak sesuai digunakan sebagai transmisi data kecepatan tinggi. Teknologi CDMA jauh lebih canggih dibandingkan dengan teknologi GSM. Hal ini dikarenakan CDMA mempunyai banyak keunggulan antara lain hanya membutuhkan satu frekuensi saja sehingga lebih hemat, tahan terhadap gangguan cuaca dan interferensi, tarif operator lebih murah daripada GSM, dan memiliki kecepatan hingga 144 Kbps (Enterprise, 2010). Teknologi GSM beroperasi pada rentang frekuensi 900-1800 MHz (Laudon dan Laudon, 2007).

Telepon seluler dapat memberikan dampak positif yaitu dapat mempermudah komunikasi dan pekerjaan seseorang. Namun, selain

memberikan dampak positif telepon seluler juga dapat memberikan dampak negatif salah satunya adalah dapat menyebabkan gangguan kesehatan karena efek radiasi yang dipancarkan oleh telepon seluler tersebut (Mandasari *et al.*, 2011). Radiasi yang dipancarkan oleh telepon seluler adalah berupa radiasi gelombang elektromagnetik yaitu gelombang mikro (Rakhmawati, 2011). Meskipun paparan radiasi gelombang elektromagnetik dari telepon seluler relatif kecil, namun jika terpapar dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan kerusakan pada sel atau jaringan (Sutyarso, 2010).

### 2.3 Radiasi Gelombang Elektromagnetik

Gelombang Elektromagnetik merupakan gelombang yang tidak memerlukan medium untuk perambatannya. Gelombang Elektromagnetik terbentuk karena adanya usikan medan magnet dan medan listrik. Prinsip elektromagnetik ada empat yaitu, arus listrik pada suatu konduktor menimbulkan medan magnetik yang arahnya melingkari konduktor tersebut, konduktor yang bergerak memotong garis medan magnetik sehingga menimbulkan ggl induksi pada konduktor itu, perubahan fluks magnetik pada suatu kumparan kawat konduktor akan menimbulkan arus induksi, dan perubahan fluks listrik menimbulkan medan magnetik begitupun sebaliknya. Arah rambat medan magnet dan medan listrik selalu tegak lurus, dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Surya, 2009).



**Gambar 2.2** Perambatan gelombang elektromagnetik (Surya, 2009)

Maxwell menyatakan bahwa kecepatan gelombang elektromagnetik memenuhi persamaan :

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2.1)$$



dimana  $c$  adalah laju perambatan gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa.  $\mu_0$  adalah permeabilitas ruang hampa ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ N s}^2/\text{C}^2$ ) dan  $\epsilon_0$  adalah permitivitas ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ ). Berdasarkan rumus diatas, ternyata kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik bergantung pada permitivitas listrik dan permeabilitas magnetik medium. Maka, secara umum persamaan kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik untuk berbagai medium adalah :

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}} \quad (2.2)$$

dimana  $c$  adalah laju perambatan dalam medium,  $\epsilon$  adalah permitivitas medium, dan  $\mu$  adalah permeabilitas medium. Spektrum gelombang elektromagnetik mempunyai energi, dan oleh Planck dirumuskan sebagai berikut:

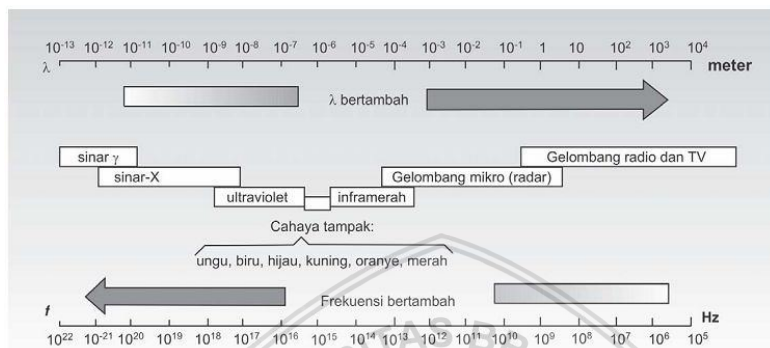
$$E = hv \quad (2.3)$$

dimana  $h$  adalah konstanta Planck ( $6,62 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ) dan  $v$  adalah frekuensi dari gelombang elektromagnetik. Energi gelombang elektromagnetik tersebut akan diterima oleh materi disekitarnya yang terpapar. Intensitas radiasi yang diterima oleh benda-benda tersebut berbeda-beda tergantung posisi atau jarak benda tersebut dari sumber radiasi (Fitriani, 2015). Intensitas radiasi dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$I = \frac{P}{A} \quad (2.4)$$

dimana  $I$  adalah besar intensitas radiasi ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $P$  adalah besar daya yang diterima ( $\text{W}$ ), dan  $A$  adalah luas permukaan yang ditembus oleh suatu radiasi ( $\text{m}^2$ ). Jika radiasi tersebut bersifat omnidirectional atau memancar ke segala arah, maka intensitas radiasi yang diterima akan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara benda yang menerima radiasi dengan sumber radiasi,  $I \sim 1/r^2$ . Semakin besar jarak dengan sumber radiasi, maka intensitas radiasi akan semakin berkurang, semakin dekat dengan sumber radiasi maka intensitas yang diterima akan semakin besar (Fitriani, 2015).

Gelombang elektromagnetik mempunyai spektrum yang sangat luas mulai dari frekuensi rendah  $10^{-1}$  Hz sampai dengan frekuensi tinggi  $10^{23}$  Hz (Surya, 2009). Spektrum gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2. 3** Spektrum gelombang elektromagnetik

## 2.4 Interaksi Radiasi Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler terhadap Materi

Telepon seluler memancarkan radiasi gelombang mikro. Gelombang mikro merupakan gelombang elektromagnetik non pengion (Sutyarso, 2010). Gelombang mikro yang dipancarkan telepon seluler mempunyai frekuensi antara 900 MHz sampai dengan 1800 MHz dan energi sebesar  $12.41 \times 10^{-5}$  eV. Energi dari telepon seluler tersebut didapatkan melalui persamaan:

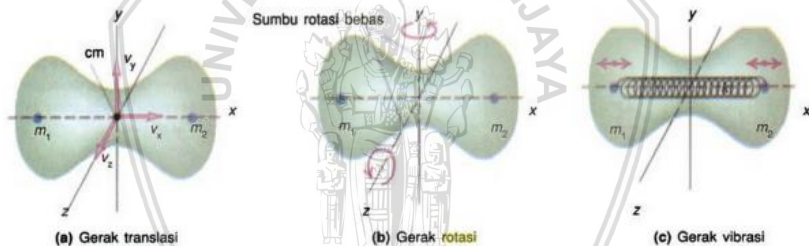
$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.5)$$

dimana  $h$  adalah konstanta Planck yang mempunyai nilai  $6.62 \times 10^{-27}$  Js,  $c$  adalah kecepatan cahaya yang besarnya  $3 \times 10^8$  m/s, dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang (panjang gelombang yang dimaksud disini adalah panjang gelombang mikro nilainya adalah  $10^{-4}$  m sampai dengan 0.1 m) (Anies, 2006).

Radiasi gelombang elektromagnetik non pengion adalah gelombang yang energinya tidak cukup untuk mengionisasi suatu

atom atau molekul. Radiasi ini hanya memiliki energi yang cukup untuk mengubah rotasi, vibrasi, dan konfigurasi elektron valensi dari suatu atom atau molekul. Radiasi gelombang elektromagnetik non pengion terdiri dari radiasi frekuensi radio, *microwave*, cahaya tampak, sinar ultraviolet, dan sinar infra merah. Efek biologis yang dapat ditimbulkan dari radiasi gelombang elektromagnetik non pengion berbeda-beda tergantung jenis radiasinya. Untuk gelombang mikro efek biologis yang ditimbulkan adalah pemanasan jaringan tubuh dan mungkin karsinogenik (Hoong, 2003).

Ada tiga jenis gerak inti didalam molekul yang berinteraksi dengan gelombang mikro yaitu keseluruhan gerak traslasional, gerak rotasional dimana molekulnya memutari satu sumbu atau lebih, dan gerak vibrasional dimana inti bergerak relatif terhadap inti lain ketika panjang ikatan atau sudut ikatannya berubah seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 (Oxtoby, Gillis dan Nachtrieb, 2003).



**Gambar 2.4** Gerakan molekul diatomik (Ruwanto, 2007)

### 1. Rotasi molekul

Energi rotasional bergantung pada momen inersia. Untuk molekul diatomik, hanya ada satu momen inersia tunggal yang masuk, yang didefinisikan sebagai:

$$I = \mu R_e^2 \quad (2.6)$$

dimana  $\mu$  adalah massa tereduksi molekul tersebut, yang memenuhi persamaan:

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad (2.7)$$

dengan  $m_1$  dan  $m_2$  adalah massa kedua atom dan  $R_e$  ialah panjang ikatan. Molekul poliatomik bisa memiliki sampai tiga momen inersia yang berbeda, yang berhubungan dengan rotasi pada tiga sumbu. Mekanika kuantum menunjukkan bahwa gerak rotasional adalah terkuantisasi, dan hanya tingkat energi rotasional diskrit tertentu yang dapat mengalaminya (Oxtoby, Gillis dan Nachtrieb, 2003). Dalam suatu molekul linear, contohnya, energi rotasional hanya dapat bernilai:

$$E_{\text{rot}J} = \frac{h^2}{8\pi^2 I} J(J+1) \quad J = 0, 1, 2, \dots \quad (2.8)$$

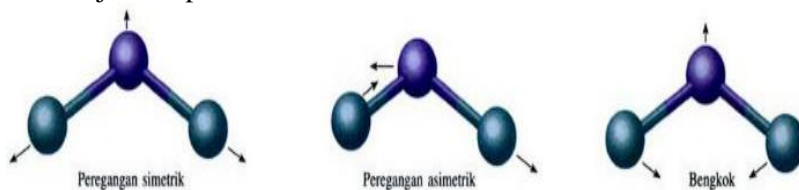
dengan  $J$  ialah bilangan kuantum rotasional (Oxtoby, Gillis dan Nachtrieb, 2003).

## 2. Vibrasi molekul

Pada gerak vibrasional dari molekul diatomik, jika ikatan diregangkan, kedua atom mengalami suatu gaya pemulih yang cenderung membuat keduanya kembali ke jarak asalnya  $R_e$ , sama seperti gaya pemulih yang bekerja pada ujung-ujung pegas yang diregangkan. Untuk suatu perubahan kecil dalam panjang ikatan  $R - R_e$ , gaya ini berbanding lurus dengan perubahan tersebut:

$$F = -k(R - R_e) \quad (2.9)$$

Ada tiga jenis gerak vibrasi pada molekul triatomik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Tiga jenis gerak vibrasi pada molekul triatomik (Oxtoby, Gillis dan Nachtrieb, 2003)

## 2.5 Radikal Bebas

Radikal bebas adalah suatu senyawa atau molekul yang mengandung satu atau lebih elektron tidak berpasangan pada orbital luarnya. Adanya elektron yang tidak berpasangan menyebabkan senyawa tersebut sangat reaktif mencari pasangan dengan cara menyerang dan mengikat elektron molekul yang berada disekitarnya. Jika elektron yang terikat bersifat ionik, maka tidak akan menimbulkan efek yang begitu berbahaya. Namun, jika elektron yang terikat oleh radikal bebas berasal dari senyawa yang berikatan kovalen, maka akan sangat berbahaya karena ikatan digunakan secara bersama-sama pada orbital terluarnya. Umumnya, senyawa yang mempunyai ikatan kovalen adalah molekul-molekul besar, seperti lipid, protein, maupun DNA (Winarsi, 2007). Terdapat tiga tahap reaksi radikal bebas yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi.

### 1. Inisiasi

Pada tahap inisiasi, radikal bebas dihasilkan dari pembelahan homolitik yang kemudian menyebabkan perpindahan elektron (Sumardjo, 2006). Gambaran pembelahan homolitik dapat dilihat pada persamaan berikut:

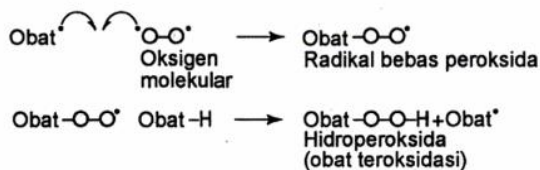


Sumber energi dari proses inisiasi ini sering berasal dari cahaya, baik cahaya tampak maupun cahaya ultraviolet, yang mengenai sampel. Hal ini dikarenakan panjang gelombang dari cahaya tersebut cukup kecil sehingga memiliki energi yang relatif besar untuk memecah pasangan elektron dalam suatu ikatan kovalen dan menghasilkan dua radikal bebas (Cairns, 2004).

### 2. Propagasi

Propagasi adalah tahap reaksi utama pada pembentukan radikal bebas. Radikal-radikal bebas yang dihasilkan dari tahap reaksi sebelumnya bereaksi bersama-sama dan membentuk radikal bebas jenis baru. Tahap propagasi pada reaksi oksidasi biasanya akan membentuk peroksida dan hidroperoksida. Hidroperoksida dapat mengalami dekomposisi lebih lanjut dan menghasilkan senyawa karbonil seperti aldehid serta keton yang

memiliki berat molekul kecil (Cairns, 2004). Salah satu contoh mekanisme propagasi dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Mekanisme propagasi pada obat (Cairns, 2004)

### 3. Terminasi

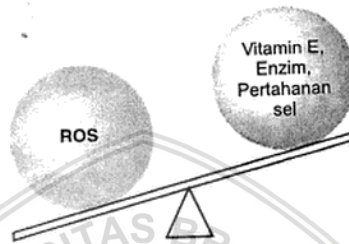
Pada tahap terminasi terjadi pembentukan ikatan kovalen antara radikal bebas reaktif yang bergabung bersama. Tahap ini merupakan akhir dari proses reaksi rantai yang kemudian menghasilkan senyawa stabil (Cairns, 2004).



Reaktivitas radikal bebas dapat dihambat melalui tiga cara, yaitu mencegah atau menghambat pembentukan radikal bebas baru, menginaktivasi atau menangkap radikal, dan memperbaiki kerusakan oleh radikal (Winarsi, 2007). Radikal bebas dapat terbentuk dalam sel tubuh melalui berbagai cara seperti terpapar radiasi atau bahan radioaktif. Radiasi seperti ini memecah ikatan di antara atom sehingga terjadi berbagai radikal dengan elektron tunggal yang siap menimbulkan reaksi kerusakan berantai. Radikal bebas berperan dalam proses perjalanan berbagai penyakit seperti serangan jantung. Hal ini dikarenakan pasokan oksigen dan glukosa ke otot jantung terputus (Youngson, 2003).

Reaksi radikal bebas dengan molekul non radikal akan membentuk rantai radikal atau radikal bebas baru dimana reaksi ini akan terjadi secara terus menerus. Apabila reaksi tersebut tidak dihentikan, maka akan menyebabkan stres oksidatif. Stres oksidatif

adalah kondisi dimana kadar radikal bebas yang berada didalam tubuh melebihi kemampuan tubuh untuk menanganinya (Gutowski dan Kowalczyk, 2013). Stres oksidatif terjadi apabila spesies oksigen reaktif (ROS) yang dihasilkan lebih besar daripada yang dapat dibuang oleh mekanisme pertahanan sel, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7. Mekanisme pertahanan ini meliputi sejumlah enzim dan vitamin antioksidan, misalnya vitamin E (Marks, Marks dan Smith, 2000).



**Gambar 2.7** Stres oksidatif (Marks, Marks dan Smith, 2000)

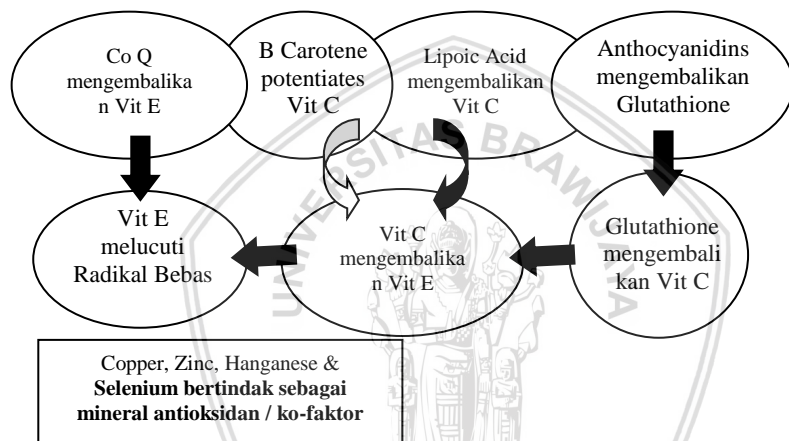
## 2.6 Antioksidan

Antioksidan adalah bahan yang mampu menghambat atau mencegah terjadinya keruntuhan, kerusakan, atau kehancuran akibat reaksi oksidasi yang disebabkan oleh senyawa radikal bebas atau oksidan (Youngson, 2003). Antioksidan sangat diperlukan oleh tubuh saat dalam keadaan stres oksidatif, yaitu keadaan dimana kadar radikal bebas didalam tubuh melebihi kemampuan tubuh untuk memperbaiki kerusakan yang ditimbulkannya (Handayani, 2017).

Tubuh mempunyai antioksidan alami yang dapat membatasi kerusakan. Salah satu antioksidan alami yang paling efektif adalah *tocopherol* (Vitamin E). Vitamin ini larut dalam lemak dan sangat penting karena sebagian besar kerusakan oleh radikal bebas terjadi pada membran sel dan lipoprotein. Vitamin C juga merupakan antioksidan yang kuat, tetapi larut dalam air, bukan didalam lemak. Hal ini berarti vitamin C tersebar ke seluruh bagian tubuh. Antioksidan alami tubuh lainnya mencakup *cystein*, *glutathion*, dan *D-penicillamin*, serta isi darah misalnya molekul transferin yang mengandung zat besi dan seruloplasmin protein (Youngson, 2003).



Antioksidan enzimatis merupakan sistem pertahanan utama atau antioksidan primer yang bekerja dengan cara mencegah terbentuknya senyawa radikal bebas baru. Antioksidan enzimatis misalnya superoksida dismutase atau SOD, katalase, dan glutation peroksidase. Selain antioksidan enzimatis juga terdapat antioksidan non-enzimatis atau antioksidan sekunder yang berfungsi menangkap senyawa oksidan serta mencegah terjadinya reaksi berantai. Antioksidan non-enzimatis dapat diperoleh dari asupan bahan makanan, seperti vitamin, glutation,  $\beta$  karoten, bilirubin, albumin, dan flavonoid (Winarsi, 2007).



**Gambar 2.8** Jejaring antioksidan (Tapan, 2005)

Peran antioksidan dalam proses melumpuhkan radikal bebas sangat sistematis. Pertama, vitamin E memulai kerjanya, yaitu dengan menangkap radikal bebas. Pada proses ini, vitamin E berubah menjadi radikal bebas sekunder, sehingga membutuhkan bantuan dari vitamin C. Kemudian setelah vitamin C berhasil mengubah vitamin E, maka vitamin C akan berubah menjadi radikal bebas juga dan membutuhkan senyawa glutation, asam Lipoat, dan beta karoten. Begitu proses seterusnya seperti pada Gambar 2.8 (Tapan, 2005). Proses penangkalan radikal bebas oleh antioksidan juga banyak dibantu oleh mineral antioksidan (trace mineral) seperti tembaga, seng, mangan, dan selenium. Serta Koenzim Q, glutation, melatonin



yang merupakan antioksidan endogen yaitu antioksidan yang diproduksi dalam tubuh kita (Tapan, 2005).

## 2.7 Kayu Manis (*Cinnamomum Burmanni*)

Kayu manis (*Cinnamomum Burmanni*) merupakan rempah-rempah yang hampir semua bagian dari pohonnya dapat dimanfaatkan seperti kulit batang, cabang, dan dahannya (Gambar 2.9) (Aprianto, 2011). Kayu manis banyak dimanfaatkan sebagai obat, misalnya adalah untuk antibakteria.



**Gambar 2.9** Kayu manis (Haryati, 2015)

**Tabel 2.3** Kandungan minyak atsiri kayu manis (Nisa, 2014)

Jenis minyak atsiri	Kadar (%)
sinamaldehyd	60-70
p-cimene	0,6-1,2
a-pinene	0,2-0,6
eugenol	0,8
sinamil asetat	5
kariofilen	1,4-3,3
benzil benzoate	0,7-1,0

Kandungan kimia yang terdapat dalam kayu manis antara lain flavonoid, minyak atsiri, safrole, sinamaldehyda, tannin, dammar, kalsium oksalat, triterpenoid, dan saponin (Utami dan Puspaningtyas,

2013), sehingga kayu manis juga dapat digunakan sebagai bahan antioksidan. Salah satu kandungan kimia yang banyak terdapat pada kayu manis adalah minyak atsiri. Kandungan minyak atsiri kayu manis dapat dilihat pada Tabel 2.3.

## 2.8 Kunyit (*Curcuma domestica*. Val)

Kunyit (*Curcuma domestica*.Val) termasuk salah satu tanaman suku temu-temuan (*Zingiberaceae*) yang dimanfaatkan sebagai penyedap, penetral bau anyir pada masakan, serta pewarna makanan. Kunyit juga sering dimanfaatkan sebagai ramuan obat tradisional untuk menyembuhkan berbagai penyakit. Kunyit kaya akan kandungan minyak atsiri yang mempunyai banyak manfaat dalam bidang kesehatan seperti dapat menyembuhkan penyakit hati dan saluran empedu (Winarto, 2004). Bentuk dan warna dari kunyit dapat dilihat pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Kunyit (Haryati, 2015)

Komposisi kimia di dalam tanaman kunyit adalah minyak atsiri, minyak lemak, dan senyawa kurkuminoid. Persentase ketiga komposisi kimia tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Komposisi kimia kunyit (Simanjuntak, 2012)

Komposisi kimia	Kadar (%)
minyak atsiri	4.2-14
minyak lemak	4.4-12.7
senyawa kurkuminoid	60-70

Tiga senyawa kurkuminoid sebagai kandungan utama dari kunyit adalah senyawa 1,7-bis(4-hidroksi-3-metoksifenil)-1,6-heptadiena-3,6-dion yang disebut sebagai kurkumin (1) yang banyak berperan dalam aktivitas biologis, kemudian senyawa turunannya 1-(4-hidroksi-3-metoksifenil)-7-(4-hidroksifenil)-1,6-heptadiena-3,5-dion atau demetoksi kurkumin (2) dan 1,7-bis(4-hidroksifenil)-1,6-heptadiena-3,5-dion atau bisdemetoksi kurkumin (3). Di antara ketiga senyawa utama kurkuminoid tersebut, bisdemetoksi kurkumin (3) mempunyai aktivitas antioksidan paling tinggi dibandingkan dua senyawa lainnya (Simanjuntak, 2012).

## 2.9 Pala (*Myristica fragrans*. Houtt)

Pala (*Myristica fragrans*.Houtt) merupakan tanaman asli Indonesia yang termasuk ke dalam famili *Myristicaceae* yang perkembangannya terdiri dari lima genus dan 250 spesies. Pala mempunyai banyak manfaat dan khasiat bagi kesehatan yaitu untuk menyembuhkan berbagai macam penyakit, misalnya mengatasi gangguan pada telinga dan menghentikan muntah. Bagian tanaman yang dapat dimanfaatkan untuk obat adalah buah dan bijinya (Gambar 2.11). Sementara itu, daging buahnya yang tebal sering dijadikan aneka makanan ringan seperti manisan, asinan, dan selai (Drazat, 2007).



**Gambar 2.11** Pala (Haryati, 2015)

Buah pala memiliki antioksidan yang tinggi disebabkan adanya senyawa fenolik terutama dalam biji pala. Komponen aktif yang bersifat sebagai antioksidan adalah eugenol. Biji pala memiliki aktivitas bakterisida karena adanya kandungan senyawa miristin, hidrokarbon terpen, dan turunan fenilpropan (Rachmi, Zamri dan

Yuharmen, 2014). Biji pala mengandung banyak gizi, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Kandungan gizi biji pala per 95 gram bahan

Kandungan Gizi	Jumlah
Kalori	494 kal
Protein	7.5 g
Lemak	36.4 g
Karbohidrat	40.1 g
Kalsium	120 mg
Posfor	240 mg
Besi	4.6 g
Vitamin A	0 SI
Vitamin B1	0.2 mg
Vitamin C	0 mg
Air	14.3 g

Buah pala juga dapat digunakan sebagai bahan antioksidan alami karena mengandung flavonoid yaitu sebesar  $4.50 \pm 0,64$  ( $\mu\text{g/ml}$ ) (Putra dan Verawati, 2011). Pala mengandung minyak atsiri dengan persentase sekitar 5-15% yang meliputi pinen, sabinen, kamfen, miristicin, elemisin, isoelemisin, eugenol, isoeugenol, metoksi eugenol, safrol, dimerik polipropanoat, lignan, dan neolignan. Eugenol merupakan komponen utama yang bersifat menghambat peroksidasi lemak dan meningkatkan aktivitas enzim (Robiulina, 2011).

## 2.10 *Electron Spin Resonance*

ESR (*Electron Spin Resonance*) atau resonansi spin elektron merupakan suatu metode pada penelitian terkait spektrum radikal bebas atau koordinasi kompleks gugus atom yang memiliki satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan (Reiger, 2007). Elektron memiliki momentum sudut intrinsik, yang disebut dengan spin elektron. Adanya momentum sudut spin elektron menimbulkan momen magnet spin elektron. Arah momen dipole magnetik spin berlawanan dengan arah spin elektron. Berdasar pada asas larangan Pauli, bahwa “tidak lebih dari dua elektron yang dapat menempati

sembarang orbital tertentu, dan jika dua elektron menempati dua orbital, spinnya harus berpasangan”. Sehingga, elektron dengan spin berpasangan, yang dinyatakan dengan mempunyai momentum sudut spin netto sama dengan nol, karena momentum sudut spin satu elektron dinetralkan oleh elektron pasangannya (Atkins, 1997). Sedangkan pada spin elektron yang tidak berpasangan dalam suatu orbital akan menghasilkan netto momentum sudut spin ( $\mu_e$ ) yang nilainya tidak sama dengan nol (Ikeya, 1993).

*Electron Spin Resonance* adalah teknik resonansi magnetik, berdasarkan interaksi spin elektron yang tidak berpasangan dengan medan magnet eksternal. Aspek penting dari ESR dapat di gambarkan dengan melihat kasus elektron tunggal yang terisolasi. Elektron ini ditandai dengan bilangan kuantum  $S = 1/2$  dan memiliki momen magnetik:

$$\mu_e = -g_e \beta_e S \quad (2.14)$$

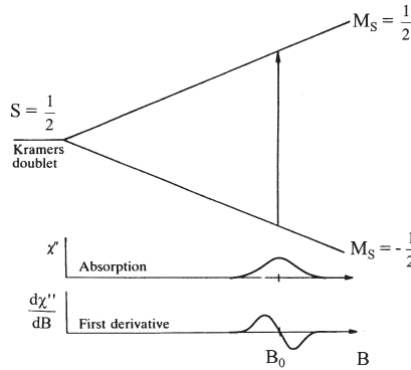
dengan  $g_e = 2.0023$ , faktor  $g$  atau faktor Lande elektron,  $\beta_e = 9,42 \times 10^{-24} \text{ J.T}^{-1}$ , magneton Bohr, dan  $S$ , vektor spin elektron tak berdimensi. Di sebuah medan magnet,  $B_0$ , ada dua keadaan energi untuk elektron ini, seperti yang digambarkan pada Gambar 2.14. Interaksi ini, yang dikenal sebagai interaksi Zeeman, diungkapkan oleh Hamiltonian berikut:

$$H_{ZI} = -\mu_e \cdot B = g_e \cdot \beta_e \cdot B_0 \cdot S_z \quad (2.15)$$

Ketika dipengaruhi medan magnet eksternal, elektron yang tidak berpasangan memiliki dua tingkat keadaan energi pada spin elektron ( $m_s$ )  $+1/2$  dan spin elektron ( $m_s$ )  $-1/2$ . Sehingga, ketika elektron menyerap suatu energi, maka menyebabkan elektron berpindah dari tingkat energi rendah ( $m_s = -1/2$ ) ke tingkat energi yang sesuai ( $m_s = +1/2$ ) (Robert, 1984). Tingkat keadaan energi spin elektron dalam medan magnet  $B$ , yaitu:

$$E_{(m_s)} = g_e \mu_B m_s B \quad (2.16)$$

Dengan  $m_s = \pm 1/2$ .



**Gambar 2.12** Diagram level energi dari elektron yang terisolasi pada medan magnet  $B$  (Weckhuysen, Heidler dan Schoonheydt, 2004)

Persamaan (2.16) menunjukkan bahwa energi elektron pada  $m_s = -1/2$  bertambah dan energi elektron pada  $m_s = +1/2$  berkurang saat medan magnet dinaikkan. Sedangkan, pemisahan tingkat energi spin elektron antara  $m_s = -1/2$  ( $\alpha$ ) dan  $m_s = +1/2$  ( $\beta$ ), dalam medan magnet  $B$  yaitu dinyatakan dalam persamaan:

$$\Delta E = E_\alpha - E_\beta = g_e \mu_B B \quad (2.17)$$

sehingga apabila elektron pada tingkat energi  $m_s = +1/2$  dikenai suatu energi eksternal yang menyebabkan transisi, maka energinya yaitu:

$$hf = g_e \mu_B B \quad (2.18)$$

Momen magnet spin elektron berinteraksi dengan medan magnet instrinsik dari atom atau molekulnya, sehingga persamaan (2.18) dapat ditulis menjadi persamaan (2.19).

$$hf = g_e \mu_B B_{\text{total}} = g_e \mu_B (1 - \sigma) B \quad (2.19)$$

sehingga bila  $g = (1 - \sigma) g_e$ , maka dapat dituliskan kembali:

$$hf = g \mu_B B \quad (2.20)$$

**Tabel 2.6** Nilai Faktor-g dari radikal bebas (Farihatin, 2014)

No	Nama Radikal Bebas	Nilai faktor-g
1	$O_2^-$	2.0356
2	O	1.501
3	$Fe^{2+}$	1.77
4	$MnO_2$	1.8367
5	FeS	1.86
6	Hidroperoxida	1.9896
7	$CO_2^-$	1.9921-2.0007
8	Cu	1.997
9	$SO_4^-$	1.9976
10	Hidroxy	2.00047
11	Alkoxy	2.0016-2.00197
12	Helium	2.002
13	Methanol	2.00205
14	Alkyl	2.00206
15	Free Radical	2.00232
16	Hidrogen	2.00232
17	Methyl	2.00255-2.00286
18	DPPH	2.0036
19	$SO_3^-$	2.0037
20	Ethyl	2.0044
21	C	2.00505-2.00548
22	Peroxy	2.0155-2.0265
23	CuOx	2.098
24	$CuGeO_3$	2.154
25	$YBa_2Cu_3O_7$	2.24
26	Cu-HA	2.289
27	Hg	4.0-4.5

dengan  $g$  merupakan faktor- $g$  (faktor lande) dari elektron yang tidak berpasangan dari radikal bebas ataupun molekul kompleks (Atkins, 1999). Nilai faktor- $g$  inilah yang dicari untuk mengidentifikasi jenis radikal bebas pada uji kandungan radikal bebas. Nilai faktor- $g$  dari beberapa jenis radikal bebas dapat dilihat pada Tabel 2.6. Persamaan nilai faktor- $g$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.20), sehingga persamaannya menjadi:

$$g = \frac{hf}{\mu_B B} \quad (2.21)$$





## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dengan judul “Pengaruh Pemberian Kayu Manis, Kunyit, dan Pala terhadap Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas pada Daging Sapi yang Terpapar Radiasi Gelombang Mikro Telepon Seluler” dilaksanakan mulai Februari 2018 sampai dengan April 2018 di Laboratorium Fisika Lanjutan FMIPA UB dan Laboratorium Biofisika FMIPA UB untuk uji kandungan radikal bebas. Sedangkan, untuk uji kandungan protein dan asam lemak bebas dilaksanakan di Laboratorium Nutrisi Universitas Muhammadiyah Malang.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain empat buah telepon seluler, satu set alat ESR Leybond-Heracus, gelas ukur, *juicer*, penggaris, pisau, wadah sampel, dan timbangan. Sedangkan, bahan yang digunakan antara lain daging sapi, kayu manis, kunyit, pala, DPPH, dan aquades.

### 3.3 Tahapan Penelitian

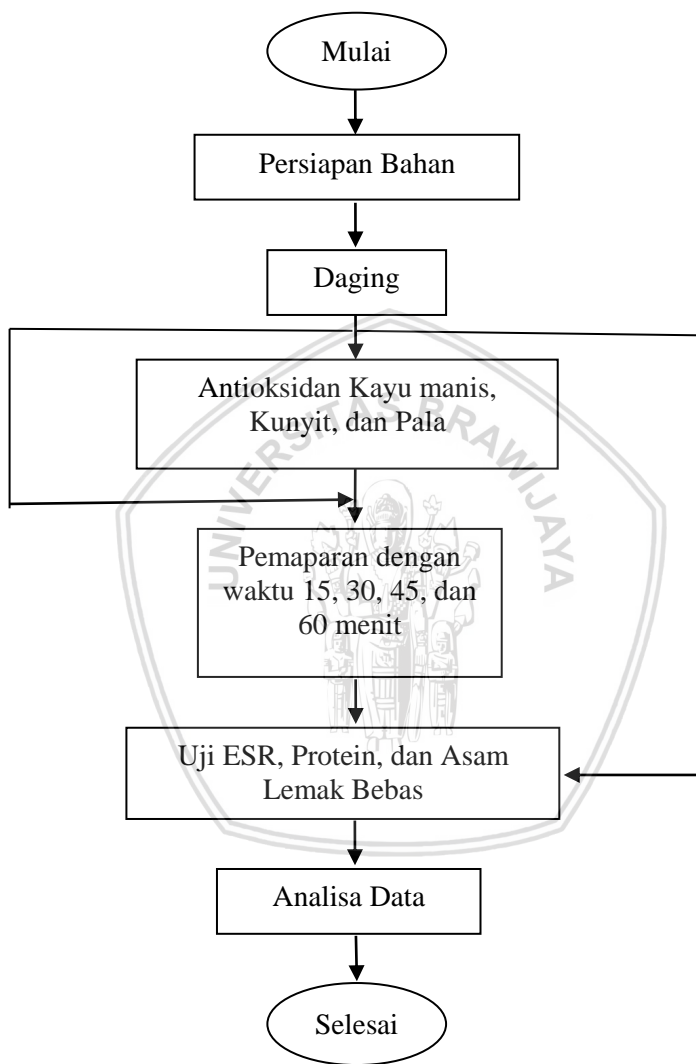
Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.

#### 3.3.1 Persiapan Bahan

Tahapan ini berupa persiapan bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian yaitu sampel daging sapi, kayu manis, kunyit, dan pala. Sampel daging sapi dipotong dengan dimensi 2 cm x 2 cm x 2 cm dengan massa 7 gram kemudian dibungkus dengan plastik dan diletakkan pada wadah. Kayu manis dan pala dihaluskan dengan *juicer* sampai menjadi bubuk. Sedangkan kunyit dihaluskan dengan *juicer* kemudian ditumbuk agar didapatkan kunyit yang sangat halus. Variasi konsentrasi antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala yang diberikan adalah 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Konsentrasi antioksidan

repository.ub.ac.id

didefinisikan sebagai banyaknya antioksidan dalam suatu pelarut. Pelarut yang dimaksud disini adalah aquades.



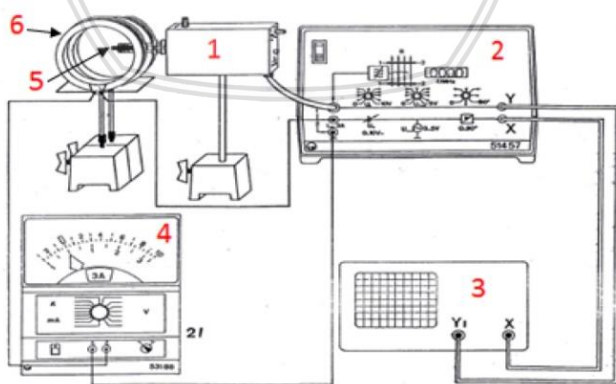
**Gambar 3.1** Tahapan Penelitian

Konsentrasi bahan antioksidan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.1) berikut:

$$\% \text{ massa} = \frac{\text{massa antioksidan}}{\text{massa larutan}} \times 100\% \quad (3.1)$$

### 3.3.2 Persiapan Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain telepon seluler yang digunakan sebagai sumber radiasi gelombang mikro. Gelas ukur digunakan untuk mengukur jumlah aquades dan larutan antioksidan. *Juicer* digunakan sebagai alat untuk menghaluskan kayu manis, kunyit dan pala. Penggaris digunakan untuk mengukur ukuran daging sapi dan jarak dari telepon seluler ke daging sapi saat proses iradiasi. Pisau digunakan sebagai pemotong daging sapi. Wadah sampel digunakan sebagai wadah daging sapi setelah dibungkus plastik secara kedap udara. Timbangan digunakan untuk mengukur massa daging sapi dan antioksidan (kayu manis, kunyit, dan pala). Pada pengukuran radikal bebas digunakan satu set alat *Electron Spin Resonance* (ESR) Leybond-Heracus. Penggunaan alat ESR Leybond-Heracus dalam eksperimen diatur pada frekuensi dan arus tertentu yang akan dialirkan pada setiap kumparan sehingga menghasilkan medan magnet. Alat ESR Leybond-Heracus dirangkai sesuai dengan Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Rangkaian alat ESR Leybond-Heracus

Keterangan :

1. ESR unit
2. Pengendali ESR
3. Osiloskop
4. Multimeter
5. Solenoid Untuk Tempat Sampel
6. Kumparan Helmholtz

Sebelum digunakan untuk pengujian kandungan radikal bebas pada daging sapi, alat ESR dikalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan sampel DPPH (*diphenyl picrylhydrazyl*). Proses pengkalibrasian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran keakuratan alat ESR, sehingga dapat diketahui apakah alat ESR sudah cukup baik digunakan untuk mendeteksi kandungan radikal bebas. Kalibrasi dilakukan dengan cara sampel DPPH dimasukkan kedalam koil frekuensi radio tertentu, kemudian dipasang pada ESR unit yang ditempatkan ditengah-tengah kumparan Helmholtz. Selanjutnya, dilakukan pengaturan frekuensi pada ESR unit, pengaturan lebar sayap kurva dan beda fase kurva pada pengendali ESR hingga didapatkan gambar kurva resonansi yang sesuai pada layar osiloskop. Nilai arus ( $I$ ) dan frekuensi radio ( $f$ ) yang menghasilkan pola bentuk cekungan seperti huruf “V” pada kurva dicatat untuk dijadikan pengolahan data selanjutnya. Setelah dilakukan kalibrasi, alat ESR bisa digunakan untuk menguji kandungan radikal bebas pada daging sapi. Proses pengujian kandungan radikal bebas dilakukan dengan cara yang sama seperti pada proses kalibrasi alat ESR dengan sampel DPPH.

### 3.3.3 Uji Kontrol Daging Segar

Sampel daging sapi yang telah dipotong dengan dimensi 2 cm x 2 cm x 2 cm dengan massa 7 gram diukur kandungan radikal bebasnya dengan alat ESR Leybond-Heracus di Laboratorium Fisika Lanjutan FMIPA UB. Selain itu, daging sapi juga diuji kandungan protein dan asam lemak bebasnya di Laboratorium Nutrisi Universitas Muhammadiyah Malang.

### 3.3.4 Pemberian Antioksidan

Antioksidan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kayu manis, kunyit, dan pala. Pemberian antioksidan dilakukan dengan cara daging sapi yang belum diradiasi dengan radiasi gelombang mikro telepon seluler direndam selama lima belas menit dengan bahan antioksidan kemudian dibungkus dengan plastik agar antioksidan dapat meresap ke dalam daging dan tidak ada kontak dengan udara luar. Kemudian, daging sapi yang telah direndam antioksidan diradiasi dengan telepon seluler.

### 3.3.5 Proses Pemaparan Daging Sapi Dengan Menggunakan Radiasi Gelombang Mikro Telepon Seluler

Sampel daging sapi yang telah dipotong dengan dimensi 2 cm x 2 cm x 2 cm dengan massa 7 gram diradiasi dengan radiasi gelombang mikro telepon seluler dengan variasi lama paparan 15, 30, 45, dan 60 menit. Sampel daging sapi di radiasi dengan empat sumber radiasi gelombang mikro telepon seluler. Empat sumber radiasi tersebut diletakkan dengan konfigurasi depan-belakang dan samping kiri-kanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. Jarak sumber radiasi telepon seluler terhadap sampel daging sapi adalah 5 cm.



**Gambar 3.3** Konfigurasi sumber radiasi terhadap objek daging sapi

### 3.3.6 Analisa Data

Berdasarkan hasil uji sampel daging sapi dengan alat ESR Leybond-Heracus, diperoleh data berupa frekuensi ( $f$ ) yang ditunjukkan oleh alat pengendali ESR dan data berupa arus ( $I$ )

yang ditunjukkan oleh alat multimeter. Selanjutnya dari data frekuensi dan arus tersebut, dapat dilakukan perhitungan medan magnet dengan menggunakan persamaan:

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{n}{r} I \quad (3.2)$$

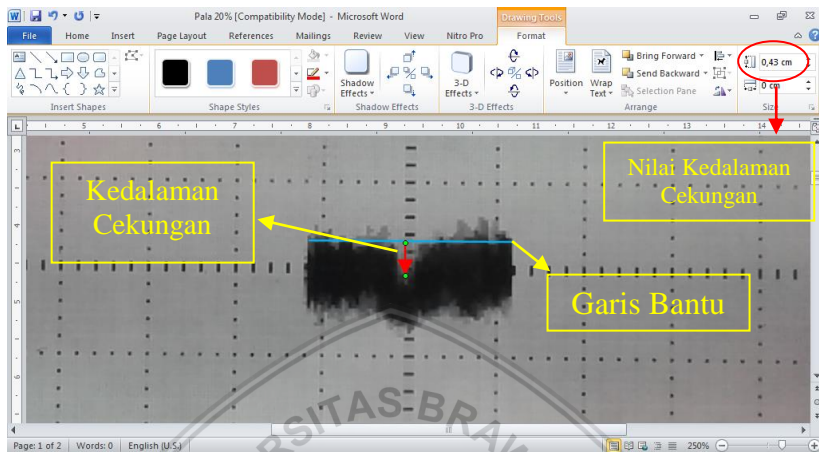
dimana  $\mu_0 = 1.2566 \times 10^{-6}$  Vs/Am,  $n$  adalah jumlah lilitan kumparan Helmholtz = 320 lilitan,  $r$  adalah jari-jari kumparan Helmholtz, dan  $I$  adalah arus yang mengalir pada kumparan Helmholtz. Nilai medan magnet yang didapat digunakan untuk mencari nilai faktor-g untuk mengetahui jenis radikal bebas yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan:

$$g = \frac{hf}{\mu_B B} \quad (3.3)$$

dimana  $h$  = konstanta Plank ( $h = 6.625 \times 10^{-34}$  Js<sup>2</sup>),  $f$  = frekuensi pada rangkaian (Hz),  $\mu_B$  = magneton Bohr ( $\mu_B = 9.273 \times 10^{-24}$  Am<sup>2</sup>), dan  $B$  = medan magnet (T). Hasil nilai faktor-g yang didapat pada eksperimen kemudian dibandingkan dengan nilai faktor-g pada literatur untuk mengetahui jenis radikal bebas yang terbentuk.

Kurva resonansi yang ditunjukkan pada osiloskop juga dapat diukur kedalaman kurva resonansinya untuk mengetahui kadar radikal bebas. Pengukuran kedalaman kurva resonansi dilakukan dengan bantuan aplikasi *Microsoft Word*. Kurva resonansi yang ditunjukkan pada osiloskop difoto kemudian dimasukkan kedalam aplikasi *Microsoft Word*. Selanjutnya, gambar diperbesar hingga 250% untuk mempermudah perhitungan. Ditarik garis lurus / *line* secara horizontal dari ujung kiri atas sampai ujung kanan atas kurva lissajous sebagai garis bantu. Lalu, ditarik garis lurus vertikal dari garis bantu horizontal sampai ujung kedalaman cekungan kurva lissajous seperti pada Gambar 3.4. Besarnya kedalaman cekungan kurva dapat dilihat pada hasil garis lurus vertikal yang terukur pada menu *Format-Size*. Data kedalaman cekungan kurva kemudian diolah menjadi

kuadrat kedalaman cekungan kurva, karena kandungan radikal bebas sebanding dengan kuadrat kedalaman cekungan kurva.



**Gambar 3.4** Perhitungan kedalaman kurva resonansi dengan *Microsoft Word*

Sedangkan berdasarkan hasil uji protein dan asam lemak bebas didapatkan data berupa persentase kandungan protein dan asam lemak bebas daging sapi. Data-data yang didapatkan, kemudian dibuat grafik dengan lama waktu paparan ditunjukkan dalam sumbu x serta nilai kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas ditunjukkan dalam sumbu y. Berdasarkan grafik yang telah dibuat, maka dapat diketahui pengaruh lama waktu paparan terhadap kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler. Selain itu, juga dibuat grafik dengan variasi konsentrasi antioksidan sebagai sumbu x serta nilai kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas ditunjukkan dalam sumbu y, sehingga dapat diketahui jenis antioksidan mana yang lebih mampu mengurangi kandungan radikal bebas dan asam lemak bebas pada daging sapi serta lebih mampu mempertankan kandungan protein pada daging sapi yang telah terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler.



[Halaman ini sengaja dikosongkan]



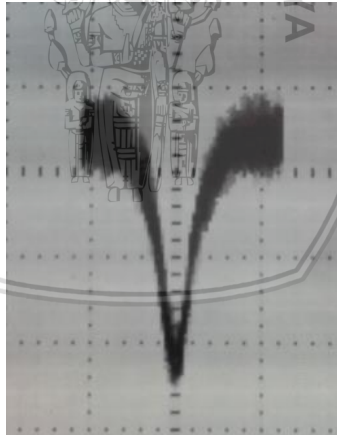
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

##### 4.1.1 Kalibrasi Perangkat ESR

Perangkat alat *Electron Spin Resonance* (ESR) yang digunakan pada penelitian ini adalah ESR tipe Leybond-Heracus. Alat ini digunakan untuk mendeteksi radikal bebas yang terkandung pada sampel uji. Sebelum digunakan, perangkat ESR dikalibrasi terlebih dahulu agar didapatkan hasil pengukuran yang akurat. Kalibrasi perangkat ESR menggunakan sampel DPPH (*diphenyl picrylhydrazyl*) yang merupakan radikal bebas bersifat stabil dan umumnya digunakan sebagai kalibrator perangkat ESR. Sampel DPPH dimasukkan kedalam koil frekuensi radio tertentu kemudian perangkat ESR diatur sedemikian rupa hingga dihasilkan kurva resonansi yang baik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Kurva resonansi sampel DPPH pada osiloskop

Hasil kalibrasi perangkat ESR menggunakan sampel DPPH didapatkan data pada Tabel 4.1 berikut:

**Tabel 4.1** Data hasil pengukuran kalibrasi perangkat ESR dengan sampel DPPH

Frekuensi (MHz)	Arus (A)	Medan Magnet (T)	Faktor-g Literatur	Faktor-g Eksperimen	Faktor Kalibrasi
23.5	0.198	0.000838	2.003600	2.003988	0.999806

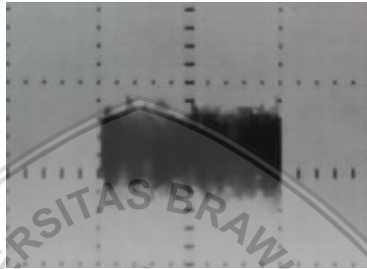
Alat baik digunakan untuk pengukuran jika nilai faktor kalibrasinya mendekati 1, namun tidak lebih dari 1. Faktor kalibrasi yang didapatkan pada pengukuran adalah sebesar 0.999806, sehingga dapat dikatakan alat ESR dalam kondisi baik dan dapat digunakan untuk mendeteksi adanya radikal bebas pada sampel uji. Selanjutnya, nilai faktor kalibrasi yang didapat dikalikan dengan nilai faktor-g sampel uji untuk mendapatkan nilai faktor-g yang sebenarnya. Pada tiap kali pengambilan data, koil radio frekuensi yang digunakan harus sama dan nilai arus diatur tetap konstan agar dapat dibandingkan hasil dari tiap perlakuan.

#### **4.1.2 Hasil Uji Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas Daging Sapi Sebelum Diradiasi Telepon Seluler dan Tanpa Antioksidan**

Daging sapi yang masih segar diuji kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas sebelum diradiasi dengan telepon seluler dan sebelum ditambah antioksidan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah daging sapi segar tersebut sudah mengandung radikal bebas atau tidak dan untuk mengetahui kandungan protein serta asam lemak bebas yang akan dijadikan sebagai nilai kontrol. Pada hasil uji kandungan radikal bebas dengan alat ESR didapatkan kurva resonansi pada layar osiloskop seperti Gambar 4.2.

Kurva resonansi yang didapatkan berbentuk datar untuk semua *range* frekuensi pada seluruh koil frekuensi radio yang

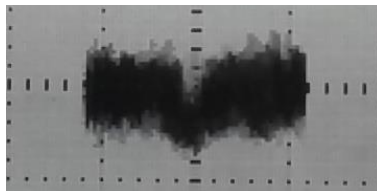
tersedia. Hasil tersebut menunjukkan bahwa daging sapi segar yang digunakan sebagai sampel kontrol tidak mengandung radikal bebas. Hal ini, dikarenakan tidak ada elektron bebas pada daging sapi sehingga tidak terjadi resonansi dengan gelombang RF (*Radio Frequency*). Sedangkan, untuk hasil uji protein dan asam lemak bebas daging sapi segar didapatkan nilai kandungan protein sebesar 26.43% dan kandungan asam lemak bebas sebesar 3.07%.



**Gambar 4.2** Kurva resonansi daging sapi sebelum diradiasi telepon seluler dan tanpa antioksidan

#### **4.1.3 Hasil Uji Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas Daging Sapi yang Diradiasi Telepon Seluler dan Tanpa Antioksidan**

Daging sapi yang mengandung radikal bebas ditunjukkan dengan terbentuknya pola cekungan kurva seperti Gambar 4.3 setelah dilakukan pengaturan frekuensi radio di ESR unit. Pada penelitian ini, ditemukan pola bentuk cekungan dari beberapa sampel uji.



**Gambar 4.3** Kurva resonansi daging sapi yang mengandung radikal bebas

Hasil uji kandungan radikal bebas dengan alat ESR pada daging sapi yang diradiasi menggunakan telepon seluler namun tanpa penambahan antioksidan, ditunjukkan pada Tabel 4.2. Tabel tersebut memberikan informasi nilai faktor-g eksperimen yang menunjukkan jenis radikal bebas yang terkandung pada daging sapi yang diradiasi telepon seluler. Nilai faktor-g eksperimen tersebut dipengaruhi oleh besar arus yang mengalir pada rangkaian alat ESR dan besar frekuensi radio saat terbentuk kurva resonansi. Oleh karena itu, nilai faktor-g dapat dicari dengan memasukkan besaran arus ( $I$ ) dan frekuensi radio ( $f$ ) kedalam rumusan (3.2) dan (3.3). Selanjutnya, nilai faktor-g eksperimen yang didapat dibandingkan dengan nilai faktor-g pada literatur untuk mengetahui jenis radikal bebas yang terbentuk.

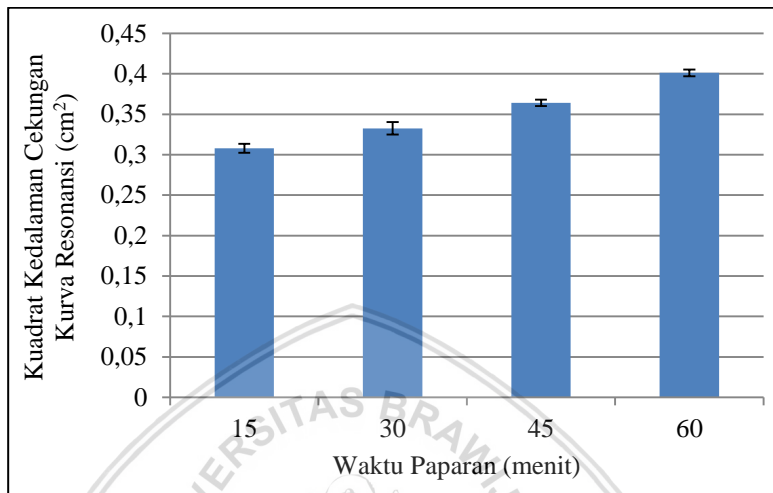
**Tabel 4.2** Data hasil uji ESR pada daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan tanpa antioksidan

Waktu Paparan (menit)	Rata-rata Faktor-g Eksperimen	Jenis Radikal
15	1.986548	Hidroperoksida
30	1.983706	Hidroperoksida
45	1.986475	Hidroperoksida
60	1.983874	Hidroperoksida

Dari perhitungan rata-rata faktor-g eksperimen seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, diketahui bahwa radikal bebas yang terbentuk pada daging sapi yang diradiasi telepon seluler namun tanpa antioksidan adalah hidroperoksida.

Kandungan radikal bebas daging sapi yang diradiasi menggunakan telepon seluler namun tanpa penambahan antioksidan, didapatkan hasil grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara pengaruh waktu pemaparan telepon seluler terhadap kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi. Nilai dari kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi yang didapat berdasarkan variasi waktu pemaparan 15, 30, 45, dan 60 menit masing-masing

sebesar  $0.30805 \text{ cm}^2$ ,  $0.33263 \text{ cm}^2$ ,  $0.36403 \text{ cm}^2$ , dan  $0.40113 \text{ cm}^2$ .

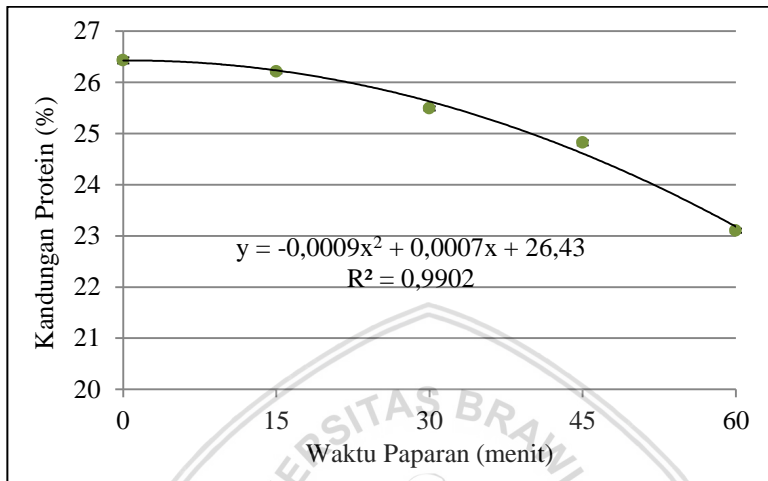


**Gambar 4.4** Grafik pengaruh waktu pemaparan terhadap kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi

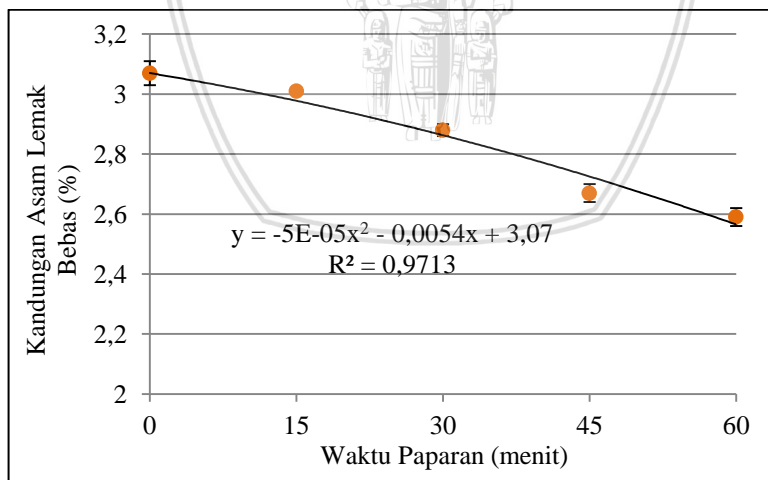
Kandungan protein daging sapi yang diradiasi dengan telepon seluler namun tanpa penambahan antioksidan dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara pengaruh waktu pemaparan telepon seluler terhadap persentase kandungan protein daging sapi. Nilai dari persentase kandungan protein yang didapat berdasarkan variasi waktu pemaparan 15, 30, 45, dan 60 menit masing-masing sebesar 26.21%, 25.49%, 24.82%, dan 23.10%.

Kandungan asam lemak bebas daging sapi yang diradiasi dengan telepon seluler namun tanpa penambahan antioksidan dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara pengaruh waktu pemaparan telepon seluler terhadap persentase kandungan asam lemak bebas daging sapi. Nilai dari persentase kandungan asam lemak bebas yang didapat berdasarkan variasi waktu pemaparan

15, 30, 45, dan 60 menit masing-masing sebesar 3.01%, 2.88%, 2.67%, dan 2.59%.



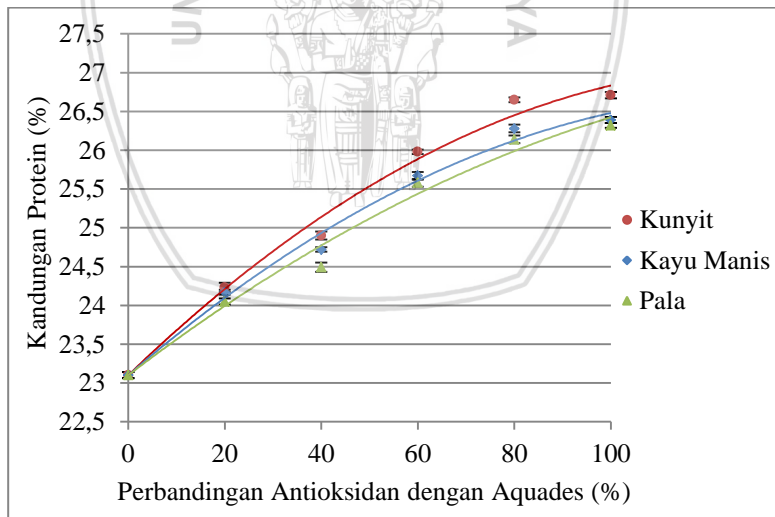
**Gambar 4.5** Grafik pengaruh waktu paparan terhadap kandungan protein daging sapi



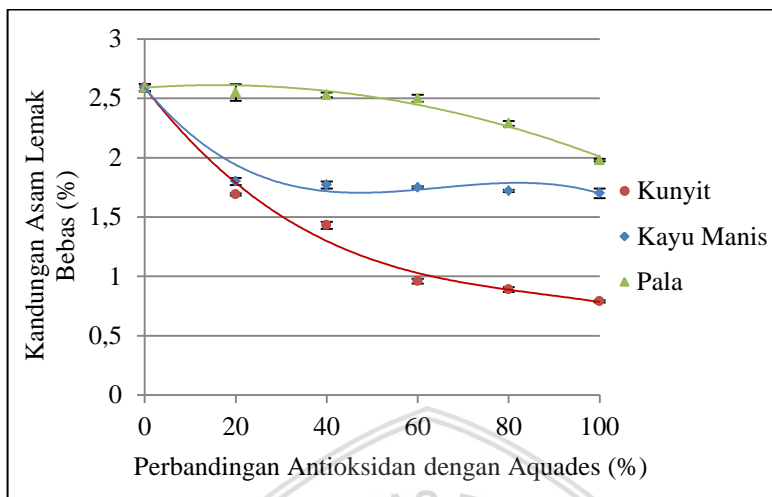
**Gambar 4.6** Grafik pengaruh waktu paparan terhadap kandungan asam lemak bebas daging sapi

#### 4.1.4 Hasil Uji Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas Daging Sapi yang Diradiasi Telepon Seluler dan Diberi Antioksidan

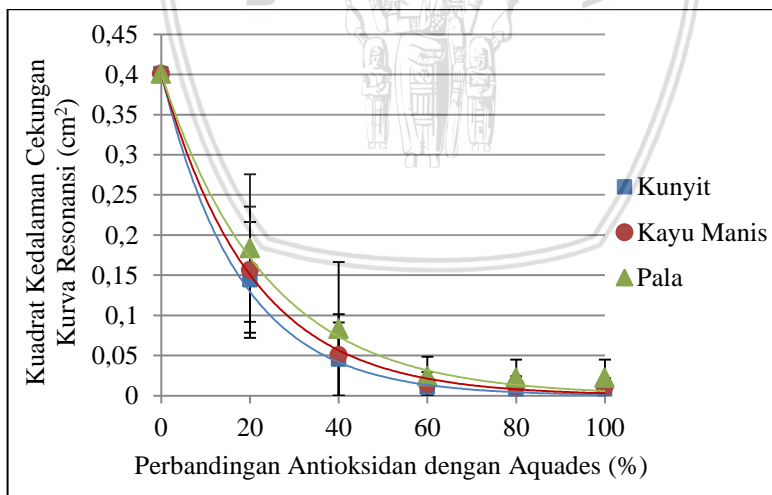
Hasil uji protein, asam lemak bebas, dan radikal bebas dari daging sapi yang diradiasi telepon seluler dan diberi antioksidan dapat dilihat pada Gambar 4.7 - Gambar 4.9. Gambar dari grafik tersebut menunjukkan hubungan antara variasi konsentrasi antioksidan yang diberikan terhadap persentase kandungan protein, persentase kandungan asam lemak bebas, dan kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi. Peningkatan persentase kandungan protein dan penurunan persentase kandungan asam lemak bebas terbanyak yaitu pada penambahan antioksidan kunyit dengan konsentrasi 100%, sedangkan yang paling sedikit yaitu pada penambahan antioksidan pala dengan konsentrasi 20%. Penurunan kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi paling signifikan adalah pada penambahan antioksidan kunyit dengan konsentrasi 20%.



**Gambar 4.7** Grafik pengaruh antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala terhadap kandungan protein pada daging sapi yang diradiasi telepon seluler



**Gambar 4.8** Grafik pengaruh antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala terhadap kandungan asam lemak bebas pada daging sapi yang diradiasi telepon seluler



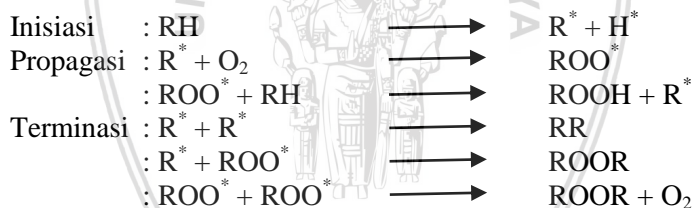
**Gambar 4.9** Grafik pengaruh antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala terhadap kandungan radikal bebas hidroperoksida pada daging sapi yang diradiasi telepon seluler



## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Analisa Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas Daging Sapi yang Diradiasi Telepon Seluler dan Tanpa Antioksidan

Jenis radikal bebas yang terbentuk pada daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler adalah hidroperoksida. Hidroperoksida dihasilkan dari proses oksidasi lemak atau lipid. Lemak atau lipid yang asam lemaknya banyak memiliki ikatan rangkap (asam lemak tak jenuh) akan lebih mudah teroksidasi dibandingkan lipid dengan asam lemak yang hanya memiliki satu ikatan rangkap (asam lemak jenuh). Oksidasi pada lemak atau lipid disebut juga dengan autooksidasi karena reaksi oksidasi dapat terjadi meskipun tidak ada zat pengoksidasinya. Oksidasi lipid terjadi melalui tiga tahap reaksi, yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi. Ketiga tahap tersebut dapat dilihat pada reaksi berikut ini:



Keterangan:

RH : asam lemak tidak jenuh atau ester dengan atom H

$R^*$  : radikal alkil

$ROO^*$  : radikal peroksida

ROOH : hidroperoksida

Reaksi inisiasi merupakan reaksi awal yaitu terjadinya pelepasan atom hidrogen secara homolitik dari asam lemak tidak jenuh karena adanya inisiator seperti panas, oksigen aktif, logam, atau cahaya sehingga terbentuk radikal alkil. Pada tahap propagasi, terjadi reaksi antara radikal alkil dengan oksigen. Dalam keadaan normal, radikal alkil bereaksi cepat dengan

oksigen membentuk radikal peroksida. Kemudian, radikal peroksida bereaksi lebih lanjut dengan asam lemak tidak jenuh membentuk hidroperoksida dan radikal alkil. Radikal alkil yang terbentuk bereaksi lagi dengan oksigen seperti pada tahap sebelumnya dan membentuk radikal peroksida kembali, sehingga terjadi reaksi rantai radikal bebas. Tahap terminasi terjadi reaksi antara dua radikal yang terbentuk pada tahap propagasi menjadi senyawa yang stabil. Pada tahap terminasi, biasanya yang paling sering terjadi adalah reaksi antara dua radikal peroksida. Hal ini, dikarenakan laju reaksi antara radikal alkil dengan oksigen berlangsung lebih cepat sehingga kebanyakan radikal bebas yang terbentuk adalah radikal peroksida (Sandrasari, 2008). Hidroperoksida (ROOH) merupakan senyawa radikal yang sangat berbahaya karena juga dapat memicu reaksi oksidasi lipid dan membentuk beberapa jenis radikal bebas reaktif seperti reaksi berikut ini:



Keterangan:

M : logam transisi

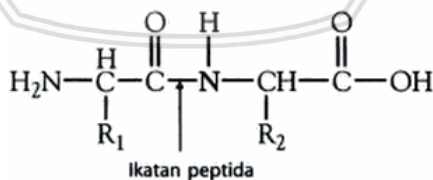
RO\* : radikal alkoksi

Banyaknya kandungan radikal bebas yang terbentuk dapat dianalisis melalui perhitungan kuadrat kedalaman kurva resonansi. Dimana, kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi tersebut sebanding dengan banyaknya radikal bebas yang terkandung pada daging sapi. Dari data yang sudah didapat, menunjukkan semakin lama daging sapi terpapar oleh radiasi telepon seluler maka semakin dalam cekungan kurva resonansi yang terbentuk. Kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi terendah didapatkan pada waktu paparan 15 menit yaitu sebesar  $0.30805 \text{ cm}^2$ . Sedangkan, kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi tertinggi didapatkan pada waktu paparan 60 menit yaitu sebesar  $0.40113 \text{ cm}^2$ .

Pada hasil uji kandungan protein daging sapi, menunjukkan penurunan persentase kandungan protein daging sapi dari keadaan

normal seiring bertambahnya waktu paparan radiasi telepon seluler yang diberikan. Kandungan protein terendah didapatkan pada waktu paparan 60 menit dengan besarnya yaitu 23.10%. Penurunan nilai kandungan protein disebabkan karena daging sapi terpapar oleh radiasi gelombang mikro yang dipancarkan oleh telepon seluler. Lama paparan sebanding dengan intensitas radiasi yang dipancarkan oleh telepon seluler, sehingga semakin lama paparan makin banyak intensitas atau energi radiasi yang diserap oleh daging sapi. Energi radiasi gelombang mikro telepon seluler yang diserap menyebabkan rusaknya struktur protein daging sapi. Oleh karena itu, kandungan protein daging sapi menurun seiring bertambahnya waktu paparan.

Radiasi gelombang mikro yang dipancarkan oleh telepon seluler merupakan radiasi gelombang elektromagnetik non pengion. Radiasi ini hanya memiliki energi yang cukup untuk mengubah rotasi, vibrasi, dan konfigurasi elektron valensi dari suatu atom atau molekul. Radiasi gelombang mikro menyebabkan peningkatan temperatur pada bahan. Hal ini dikarenakan bahan (daging sapi) yang dikenai radiasi gelombang mikro mengalami peningkatan rotasi antar atom-atom penyusunnya, sehingga semua energi radiasi yang terserap oleh bahan muncul dalam bentuk panas. Protein memiliki struktur yang terdiri dari banyak atom yang saling berikatan antara satu dengan lainnya seperti yang terlihat pada Gambar 4.10, sehingga terjadi gerakan rotasi antar atom yang banyak pula pada struktur protein tersebut.



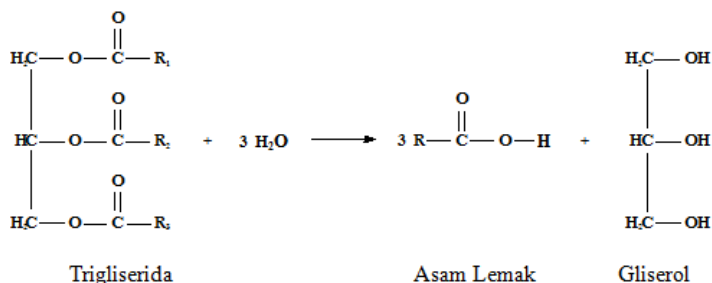
**Gambar 4.10** Struktur umum protein (Sunarya dan Setiabudi, 2007)

Molekul penyusun protein memiliki energi ikat yang berbeda-beda antar ikatan atomnya. Apabila radiasi gelombang mikro berinteraksi dengan ikatan atom tersebut, maka akan

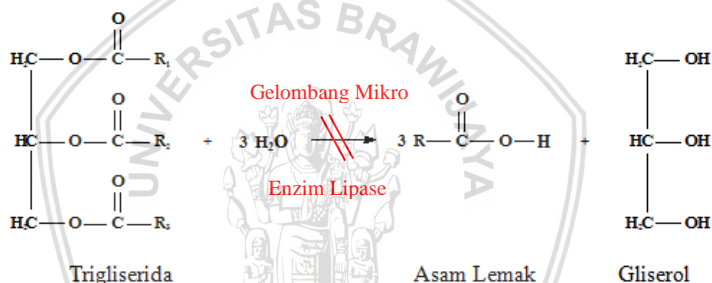
menyebabkan putusnya ikatan atom apabila energi dari radiasi lebih besar dari energi ikat antar atom. Putusnya salah satu ikatan atom molekul protein dapat menyebabkan protein kehilangan fungsinya atau terjadi denaturasi protein. Denaturasi protein yang disebabkan oleh naiknya temperatur akibat energi radiasi gelombang mikro mengakibatkan terputusnya interaksi non kovalen (memutus ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik) yang ada pada struktur protein, namun tidak memutus ikatan kovalennya yang berupa ikatan peptida. Menurut Fitriani tahun 2015, ikatan hidrogen terluar yang memiliki energi ikat terkecil adalah ikatan antara atom C dengan H yaitu nilainya sebesar  $0.606 \times 10^{-29} \text{ j}$  atau  $0.379 \times 10^{-10} \text{ eV}$ , sehingga menyebabkan atom H lepas dari ikatannya ketika terpapar radiasi gelombang mikro. Hilangnya atom H pada molekul protein dapat menyebabkan molekul protein menjadi senyawa radikal.

Pada hasil uji kandungan asam lemak bebas daging sapi, menunjukkan penurunan persentase kandungan asam lemak bebas daging sapi seiring bertambahnya waktu paparan radiasi telepon seluler yang diberikan. Kandungan asam lemak bebas terendah didapatkan pada waktu pemaparan 60 menit dengan besarnya yaitu 2.59%. Penurunan nilai kandungan asam lemak bebas disebabkan karena daging sapi terpapar oleh radiasi gelombang mikro yang dipancarkan oleh telepon seluler. Asam lemak bebas dihasilkan dari aktivitas enzim lipase yang menghidrolisis trigliserida pada senyawa lemak, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.11. Daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro dapat menghentikan aktivitas enzim lipase sehingga dapat menghambat aktivitas pembentukan asam lemak bebas mengikuti reaksi seperti Gambar 4.12 (Purnomo, Martono dan Kristijanto, 2013). Selain itu, penurunan kandungan asam lemak bebas juga disebabkan karena berkurangnya kandungan molekul air pada daging sapi. Molekul air ikut berperan dalam reaksi hidrolisis trigliserida untuk membentuk gliserol dan asam lemak bebas. Sehingga, apabila kandungan molekul air berkurang maka juga akan mengurangi reaksi pembentukan asam lemak bebas. Berkurangnya molekul air disebabkan karena molekul air merupakan molekul yang sangat polar, apabila berinteraksi dengan gelombang mikro molekul tersebut akan berputar dan

bergetar menyebabkan putusnya ikatan antar atom lalu merubah strukturnya.



**Gambar 4.11** Reaksi Hidrolisis Lemak (Irawan, Awalia dan Uthami, 2013).



**Gambar 4.12** Interaksi gelombang mikro dengan enzim Lipase (Purnomo, Martono dan Kristijanto, 2013)

#### 4.2.2 Analisa Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas Daging Sapi yang Diradiasi Telepon Seluler dan Diberi Antioksidan

Telah diketahui bahwa daging sapi yang diradiasi dengan telepon seluler dapat menyebabkan penurunan kandungan protein dan asam lemak bebas serta peningkatan kandungan radikal bebas pada daging sapi. Kandungan protein dan asam lemak bebas terendah serta kandungan radikal bebas tertinggi ditemukan pada waktu pemaparan terlalu lama yaitu 60 menit. Oleh karena itu, diberikan perlakuan penambahan antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala pada daging sapi sebelum diradiasi telepon seluler

selama 60 menit. Ketiga bahan antioksidan tersebut dipilih berdasarkan nilai ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*). Nilai ORAC merupakan nilai yang menunjukkan seberapa besar kemampuan suatu bahan untuk menangkal radikal bebas. Semakin tinggi nilai ORAC, maka semakin besar kemampuan bahan tersebut untuk menangkal radikal bebas. Nilai ORAC untuk kayu manis sebesar 131.420  $\mu\text{molTE}$  / 100g, untuk kunyit sebesar 127.008  $\mu\text{molTE}$  / 100g, dan untuk pala sebesar 69.640  $\mu\text{molTE}$  / 100g.

Perbandingan antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala dengan aquades yang diberikan adalah 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Pemberian variasi perbandingan antioksidan dengan aquades tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari banyaknya antioksidan yang diberikan untuk mempertahankan kandungan protein daging sapi, menurunkan kandungan asam lemak bebas, dan untuk melawan atau menangkal radikal bebas yang terbentuk akibat daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler.

Pada hasil uji radikal bebas dari daging sapi yang diradiasi dengan telepon seluler dan diberi antioksidan, menunjukkan penurunan jumlah radikal bebas hidropereksida yang ditunjukkan dengan menurunnya kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi seiring bertambahnya jumlah antioksidan yang diberikan. Pemberian antioksidan dengan konsentrasi 20% untuk semua jenis antioksidan (kayu manis, kunyit, dan pala) menyebabkan penurunan kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi paling signifikan bila dibandingkan dengan pemberian antioksidan dengan konsentrasi lainnya. Sedangkan, pemberian antioksidan dengan konsentrasi 60%, 80%, dan 100% untuk semua jenis antioksidan yang diberikan (kayu manis, kunyit, dan pala) menunjukkan hasil penurunan kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi yang tidak jauh berbeda. Hal ini menunjukkan pemberian antioksidan dengan konsentrasi tersebut memberikan pengaruh yang tidak terlalu besar perbedaannya dalam menurunkan kandungan radikal bebas hidropereksida. Berdasarkan hasil uji juga dapat diketahui bahwa antioksidan kunyit merupakan antioksidan yang paling efektif untuk

menurunkan kandungan radikal bebas hidropersida. Sedangkan antioksidan yang paling sedikit menurunkan kandungan radikal bebas hidropersida adalah pala. Hal ini disebabkan karena pala memiliki nilai ORAC paling rendah bila dibandingkan dengan kayu manis dan kunyit.

Pada hasil uji protein dari daging sapi yang diradiasi dengan telepon seluler dan diberi antioksidan, menunjukkan peningkatan persentase kandungan protein seiring bertambahnya jumlah antioksidan. Pemberian antioksidan dengan konsentrasi 100% untuk semua jenis antioksidan (kayu manis, kunyit, dan pala) menyebabkan peningkatan persentase kandungan protein paling banyak bila dibandingkan dengan pemberian antioksidan dengan konsentrasi lainnya. Antioksidan yang paling mampu meningkatkan persentase kandungan protein adalah kunyit, sedangkan antioksidan yang paling sedikit kemampuannya untuk meningkatkan persentase kandungan protein adalah pala.

Pada hasil uji asam lemak bebas dari daging sapi yang diradiasi dengan telepon seluler dan diberi antioksidan, menunjukkan penurunan persentase kandungan asam lemak bebas seiring bertambahnya jumlah antioksidan. Pemberian antioksidan dengan konsentrasi 100% untuk semua jenis antioksidan (kayu manis, kunyit, dan pala) menyebabkan penurunan persentase kandungan asam lemak bebas paling banyak bila dibandingkan dengan pemberian antioksidan dengan konsentrasi lainnya. Antioksidan yang paling mampu menurunkan persentase kandungan asam lemak bebas adalah kunyit, sedangkan antioksidan yang paling sedikit kemampuannya untuk menurunkan persentase kandungan asam lemak bebas adalah pala. Pemberian antioksidan kayu manis untuk semua variasi konsentrasi memberikan pengaruh yang tidak jauh berbeda terhadap penurunan persentase kandungan asam lemak bebas daging sapi. Hal ini ditunjukkan dari pola penurunan grafik yang cenderung datar.

Meningkatnya kandungan protein dan menurunnya kandungan radikal bebas serta asam lemak bebas pada daging sapi yang diradiasi gelombang mikro telepon seluler disebabkan

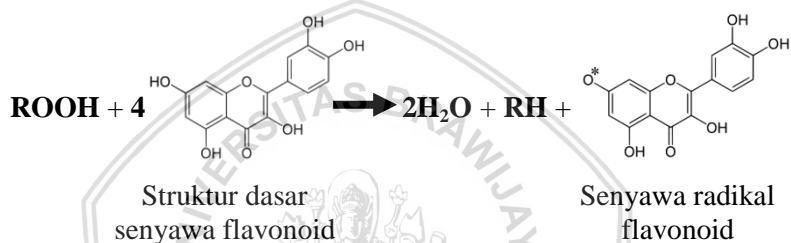


oleh penambahan antioksidan pada daging sapi sebelum diradiasi. Antioksidan berfungsi untuk menghambat atau mencegah terjadinya kerusakan suatu molekul akibat reaksi oksidasi yang disebabkan oleh senyawa radikal bebas atau oksidan (Youngson, 2003). Reaksi oksidasi menyebabkan terjadinya pembentukan reaksi rantai radikal bebas yang dapat menimbulkan stress oksidatif, jadi fungsi dari antioksidan disini adalah untuk memutus reaksi rantai radikal bebas tersebut. Antioksidan dapat mengubah radikal bebas menjadi senyawa yang lebih stabil. Cara antioksidan untuk menstabilkan radikal bebas adalah dengan mendonorkan elektron yang dimiliki untuk melengkapi elektron yang tidak berpasangan pada radikal bebas (Nurhidayah, 2009). Senyawa antioksidan yang paling baik untuk dijadikan sebagai penangkal radikal bebas adalah senyawa antioksidan yang banyak mengandung gugus OH pada struktur kimianya. Gugus OH memiliki ikatan antar atom yang lemah dikarenakan energi ikat antara atom O dan atom H bernilai kecil yaitu sebesar 63 kJ / mol. Sehingga, elektron yang umumnya menjadi pendonor adalah elektron dari atom H pada ikatan atom O-H yang terdapat pada senyawa antioksidan. Atom H berikatan dengan radikal bebas kemudian membentuk molekul baru yang bersifat stabil dan senyawa radikal antioksidan. Radikal antioksidan yang terbentuk tidak berbahaya karena tidak dapat berikatan dengan molekul lain disebabkan radikal antioksidan sifatnya cenderung stabil dan tidak reaktif. Antioksidan cenderung akan berinteraksi dengan radikal bebas dibandingkan dengan senyawa lainnya karena adanya sifat elektronegatifitas yaitu kemampuan senyawa radikal untuk menarik elektron dari senyawa antioksidan (Selly, 2015).

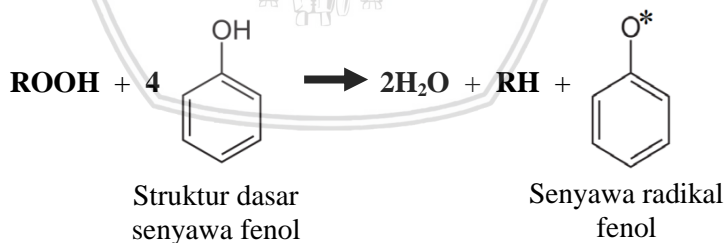
Senyawa antioksidan terbanyak yang terdapat pada kayu manis adalah flavonoid. Senyawa antioksidan terbanyak yang terdapat pada kunyit adalah kurkuminoid yang terdiri dari tiga senyawa utama yaitu kurkumin (1), demetoksi kurkumin (2), dan bisdemetoksi kurkumin (3). Dari ketiga senyawa utama kurkumin tersebut, bisdemetoksi kurkumin (3) yang mempunyai aktifitas antioksidan paling tinggi. Sedangkan, senyawa antioksidan terbanyak yang terdapat pada pala adalah flavonoid dan fenol.



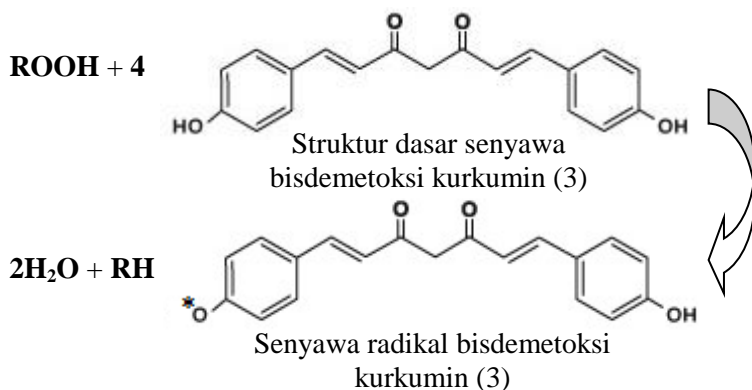
Radikal hidroperoksida (ROOH) yang terbentuk pada daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler dapat dikurangi jumlahnya atau dihilangkan dengan penambahan antioksidan. Reaksi antara antioksidan flavonoid, fenol, dan bisdemetoksi kurkumin (3) dengan radikal hidroperoksida (ROOH) dapat dilihat pada Gambar 4.13 – Gambar 4.15. Senyawa antioksidan flavonoid, fenol, dan bisdemetoksi kurkumin (3) mendonorkan atom hidrogennya ke senyawa radikal hidroperoksida (ROOH), sehingga terbentuk senyawa yang bersifat stabil yaitu  $H_2O$ , RH (asam lemak tidak jenuh), dan senyawa radikal antioksidan.



**Gambar 4.13** Interaksi radikal hidroperoksida (ROOH) dengan senyawa flavonoid dari antioksidan kayu manis dan pala

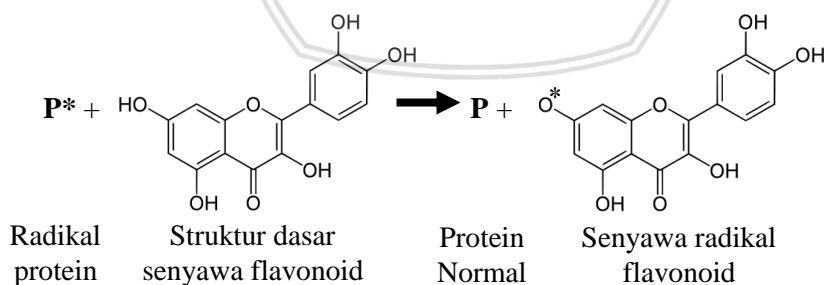


**Gambar 4.14** Interaksi radikal hidroperoksida (ROOH) dengan senyawa fenol dari antioksidan pala

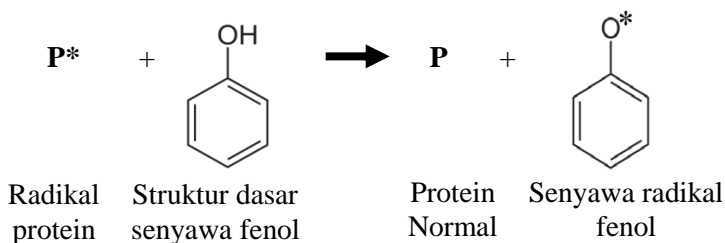


**Gambar 4.15** Interaksi radikal hidroperoksida (ROOH) dengan senyawa bisdemetoksi kurkumin (3) dari antioksidan kunyit

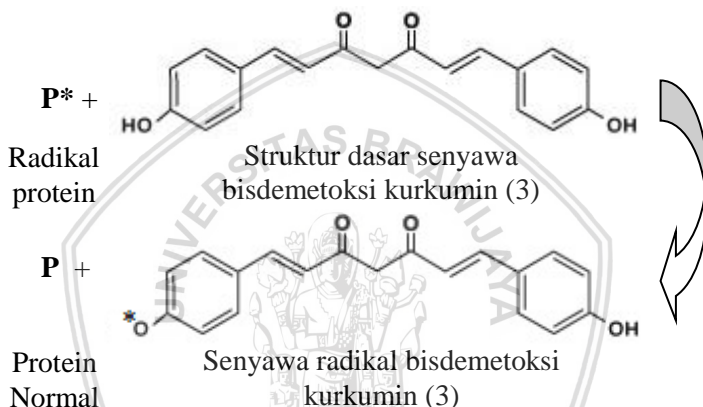
Senyawa radikal protein yang terbentuk akibat hilangnya atom H pada molekul protein dapat dinetralkan dengan penambahan antioksidan. Mekanisme hilangnya radikal protein akibat penambahan antioksidan dapat dilihat pada Gambar 4.16 - Gambar 4.18. Senyawa antioksidan flavonoid, fenol, dan bisdemetoksi kurkumin (3) mendonorkan atom hidrogennya ke senyawa radikal protein (P\*), sehingga terbentuk senyawa protein normal (P) dan senyawa radikal antioksidan yaitu senyawa radikal flavonoid, senyawa radikal fenol, dan senyawa radikal bisdemetoksi kurkumin (3).



**Gambar 4.16** Interaksi radikal protein (P\*) dengan senyawa flavonoid dari antioksidan kayu manis dan pala

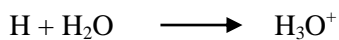


**Gambar 4.17** Interaksi radikal protein (P\*) dengan senyawa fenol dari antioksidan pala



**Gambar 4.18** Interaksi radikal protein (P\*) dengan senyawa bisdemetoksi kurkumin (3) dari antioksidan kunyit

Pembentukan asam lemak bebas disebabkan karena reaksi hidrolisis dari trigliserida. Reaksi hidrolisis ini melibatkan molekul air sehingga terbentuk asam lemak bebas dan gliserol. Tingginya kadar air diikuti dengan semakin tingginya kandungan asam lemak bebas. Pemberian antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala dapat menghambat pembentukan asam lemak bebas dengan menghambat reaksi hidrolisis trigliserida. Penghambatan tersebut dilakukan dengan cara atom H dari senyawa antioksidan flavonoid, fenol, dan bisdemetoksi kurkumin (3) mengikat molekul air (H<sub>2</sub>O) kemudian berubah menjadi senyawa lain seperti yang ditunjukkan pada reaksi berikut:



Berubahnya molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) menjadi senyawa  $\text{H}_3\text{O}^+$  menyebabkan kandungan molekul air berkurang, sehingga reaksi pembentukan asam lemak bebas akan terhambat dan kandungan asam lemak bebas akan berkurang (Marzuki, Amirullah dan Fitriana, 2010).



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Waktu pemaparan gelombang mikro telepon seluler berbanding terbalik dengan kandungan protein dan asam lemak bebas serta berbanding lurus dengan kandungan radikal bebas. Semakin lama daging sapi terpapar radiasi gelombang mikro telepon seluler maka kandungan protein dan asam lemak bebasnya semakin menurun, sedangkan kandungan radikal bebasnya semakin banyak. Radikal bebas yang terbentuk adalah radikal hidroperoksida (ROOH) dengan nilai faktor-g berkisar 1.983706-1.986548. Penambahan antioksidan kayu manis, kunyit, dan pala pada daging sapi yang diradiasi gelombang mikro telepon seluler berpengaruh terhadap penurunan kerusakan protein daging sapi, penurunan kandungan asam lemak bebas, dan penurunan kandungan radikal hidroperoksida (ROOH). Antioksidan yang paling mampu mempertahankan kandungan protein serta menurunkan kandungan asam lemak bebas dan kandungan radikal hidroperoksida (ROOH) adalah kunyit. Sedangkan, antioksidan yang paling sedikit kemampuannya untuk mempertahankan kandungan protein serta menurunkan kandungan asam lemak bebas dan kandungan radikal hidroperoksida (ROOH) adalah pala.

### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dilakukan penelitian kandungan RH (asam lemak tidak jenuh) pada daging yang diradiasi gelombang mikro telepon seluler agar diketahui hubungan dengan terbentuknya radikal hidroperoksida (ROOH).



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggit, R. M. 2015. *Bentuk Perilaku Konsumtif dalam Penggunaan Telepon Seluler Dikalangan Anak Muda Tanjungpinang*. Tanjungpinang: Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Anies. 2006. *SUTET:Potensi Gangguan Kesehatan Akibat Radiasi Elektromagnetik SUTET*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Aprianto, A. 2011. *Tesis Penelitian Ekstraksi Kayu Manis: Semarang*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Atkins, P. W. 1997. *Fisika Kimia (Jilid 1)*. Jakarta: Erlangga.
- Atkins, P. W. 1999. *Fisika Kimia (Jilid 2)*. Jakarta: Erlangga.
- Badan Ketahanan Pangan dan Pelaksana Penyuluhan Kabupaten Bantul. 2014. *Data Kandungan Gizi Bahan Pangan dan Hasil Olahannya*. Bantul: Badan Ketahanan Pangan dan Pelaksana Penyuluhan Kabupaten Bantul.
- Bahar, B. 2003. *Panduan Praktis Memilih Produk Daging Sapi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Cairns, D. 2004. *Intisari Kimia Farmasi*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Dalilah, E. 2006. *Evaluasi Nilai Gizi Dan Karakteristik Protein Daging Sapi Dan Hasil Olahannya*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Djamal, H. dan Krisnadi, I. 2013. ‘Gangguan Telepon Seluler Pada Transportasi Udara Komersial’, *IncomTech*, 4, pp. 119–144.
- Drazat, M. S. 2007. *Meraup Laba dari Pala*. Jakarta: PT Agromedia Pustaka.

- Enterprise, J. 2010. *Panduan Memilih Koneksi Internet untuk Pemula*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Farihatin, E. 2014. *Analisis Fisis Komposit Biofilter Berbahan Serbuk Daun Zaitun (Olea europaea) dengan Variasi Pengeringan untuk Menangkap Radikal Bebas Asap Rokok*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Fitriani, U. 2015. *Pengaruh Radiasi Gelombang Microwave Telepon Seluler terhadap Kandungan Protein Daging Sapi*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Gutowski, M. and Kowalczyk, S. 2013. 'A study of free radical chemistry: Their role and pathophysiological significance', *Acta Biochimica Polonica*, 60(1), pp. 1–16.
- Handayani. 2017. *Pengaruh Pemberian Minyak Zaitun terhadap Kandungan Radikal Bebas pada Daging Sapi yang Dimasak Menggunakan Oven Gelombang Mikro*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Haryati. 2015. *Rempah-Rempah dan Bahan Penyegar*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Hoong, K. N. 2003. *Non-Ionizing Radiation Sources, Biological Effects, Emissions, and Exposures*. Kuala Lumpur: Department of Radiology University of Malaya.
- Ikeya, M. 1993. *New Applications Of Electron Spin Resonance: Dating, Dosimetry, and Microscopy*. Singapore city: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Irawan, C., Awalia, T. N. and Uthami, S. 2013. 'Pengurangan Kadar Asam Lemak Bebas (Free Fatty Acid) dan Warna dari Minyak Goreng Bekas dengan Proses Adsorpsi Menggunakan Campuran Serabut Kelapa dan Sekam Padi', *Jurnal Konversi*, 2(2), pp. 29–33.



- Laudon, K. C. dan Laudon, J. P. 2007. *Sistem Informasi Manajemen, Edisi 10 Buku 1*. Jakarta: Salemba Empat.
- Mandasari, R., Setyawan, F. dan Andini, P. P. 2014. *Perlindungan Konsumen terhadap Efek Radiasi Telepon Selular*. Jember: Universitas Jember.
- Marks, D. B., Marks, A. D. dan Smith, C. M. 2000. *Biokimia Kedokteran Dasar: Sebuah Pendekatan Klinis*. Jakarta: EGC.
- Marzuki, I., Amirullah dan Fitriana. 2010. *Kimia dalam Keperawatan*. Takalar: Pustaka As Salam.
- Nisa, L. C. 2014. *Aktivitas Antibakteri Kulit Kayu Manis (Cinnamomum Burmanni) dengan Cara Ekstraksi yang Berbeda terhadap Escherichia Coli dan Staphylococcus Aureus*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Nurhidayah, S. 2009. *Perbandingan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daging Pisang Raja (Musa AAB 'Pisang Raja') dengan Vitamin A, Vitamin C, dan Katekin Melalui Penghitungan Bilangan Peroksida*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Oxtoby, D. W., Gillis, H. P. dan Nachtrieb, N. H. 2003. *Kimia Modern Edisi Keempat Jilid II*. Jakarta: Erlangga.
- Purnamasari, E., Mardiana, Fazilah, Y., Nurwidada, WHZ. dan Febrina, D. 2013. *Sifat Fisik dan Kimia Daging Sapi yang Dimarinasi Jus Buah Pinang (Areca Catechu L.)*. Pekanbaru: Uin Suska Riau.
- Purnomo, L. O. P., Martono, Y. and Kristijanto, A. I. 2013. *Hasil Asam Lemak Bebas ( Free Fatty Acid ) Bekatul Beras Ditinjau dari Stabilisasi Gelombang Mikro dan Waktu Simpan Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia V*. Salatiga: Universitas Kristen Satya Wacana.

- Putra, D. P. and Verawati. 2011. 'Analisa Kandungan Flavonoid Dan Aktivitas Antioksidan dari Rempah Tumbuhan Obat Sumatera Barat', *Scientia*, 1(1), pp. 1–7.
- Rachmi, W., Zamri, A. dan Yuharmen. 2014. *Perbandingan Isolasi Minyak Atsiri Biji Pala (Myristica Fragrans Hoult) Cara Hidrodistilasi Microwave dan Konvensional Serta Uji Aktivitas Antibakteri dan Antioksidan*. Pekanbaru: Kampus Bina Widya.
- Rakhmawati, M. 2011. *Pengaruh Pemberian Ekstrak Kulit Buah Delima Merah (Punica ganatum) terhadap Jumlah dan Hitung Jenis Leukosit pada Tikus Putih (Rattus norvegicus) yang Dipapar Gelombang Elektromagnetik Ponsel*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Reiger, P. H. 2007. *Electron Spin Resonance: Analysis and Interpretation*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Robert, A. 1984. *Kimia Fisika*. Jakarta: Erlangga.
- Robiulina, S. 2011. *Kajian Pengaruh Proses Perendaman dan Lama Penyimpanan Biji Pala (Myristica fragrans HOUTT) terhadap Rendemen dan Kualitas Minyak Pala*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ruwanto, B. 2007. *Asas-Asas Fisika*. Jakarta: Yudhistira.
- Sandrasari, D. A. 2008. *Kapasitas Antioksidan dan Hubungannya dengan Nilai Total Fenol Ekstrak Sayuran Indigenous*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Selly, J. B. 2015. 'Efek Ekstrak Sterculia quadrifida R.Br. terhadap Kandungan Radikal Bebas Organ Hati akibat Pencemaran Logam Berat', *Natural B*, 3(2).
- Setiawan, H. 2008. *Prinsip Kerja Telepon Seluler*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

- Simanjuntak, P. 2012. *Studi Kimia dan Farmakologi Tanaman Kunyit (Curcuma Longa L) sebagai Tumbuhan Obat Serbaguna*. Cibinong: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).
- Sumardjo, D. 2006. *Pengantar Kimia: Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran dan Program Strata I Fakultas Bioeksakta*. Jakarta: EGC.
- Sunarya, Y. dan Setiabudi, A. 2007. *Mudah dan Aktif Belajar Kimia*. Bandung: Setia Purna Inves.
- Surya, Y. 2009. *Listrik dan Magnet*. Tangerang: PT Kandel.
- Sutyarso. 2010. *Hubungan antara Lama Menggunakan Ponsel dengan Jumlah dan Kualitas Spermatozoa pada Laki-laki Fertil*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Tapan, E. 2005. *Seri Kesehatan Keluarga: Kanker, Antioksidan, dan Terapi Komplementer*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Utami, P. dan Puspaningtyas, D. S. 2013. *The Miracle of Herbs*. Jakarta: AgroMedia Pustaka.
- Weckhuysen, B. M., Heidler, R. dan Schoonheydt, R. A. 2004. *Electron Spin Resonance Spectroscopy*. Utrecht: Utrecht University.
- Winarsi, H. 2007. *Antioksidan Alami dan Radikal Bebas*. Yogyakarta: Kanisius.
- Winarto, W. P. 2004. *Khasiat & Manfaat Kunyit*. Jakarta: AgroMedia Pustaka.
- Youngson, R. 2003. *Antioksidan: Manfaat Vitamin C & E Bagi Kesehatan*. Jakarta: Arcan.



[Halaman ini sengaja dikosongkan]